



**Paulo Jorge Teixeira
Fernandes**

**Correlação de variáveis representativas de
segurança rodoviária**



**Paulo Jorge Teixeira
Fernandes**

**Correlação de variáveis representativas de
segurança rodoviária**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos eles deixo o meu agradecimento sincero. Começo pela minha orientadora, a Professora Doutora Margarida Coelho pela forma como orientou o meu trabalho e pelo apoio e ajuda constantes que demonstrou.

Agradeço à Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva, a forma como me recebeu para os esclarecimentos relativos ao dimensionamento de rotundas.

Por fim, uma palavra muito especial de agradecimento à minha mãe, ao meu irmão Pedro e ao meus amigos Fábio Vargas e Samuel Coelho por todo o apoio prestado, pelos incentivos constantes, pela paciência demonstrada nos piores momentos e por me terem ajudado ao longo do trabalho.

O meu obrigado a todos.

O júri

Presidente

Professor Doutor Fernando José Neto da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Orientadora

Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra

Palavras-chave

Colisões, Conflitos, Micro-simulação, Segurança rodoviária, SSAM, VISSIM.

Resumo

A segurança das infra-estruturas de tráfego é geralmente medida através da contagem do número de acidentes que ocorrem e da gravidade resultante dos mesmos. No entanto, esta técnica não é aplicável em projectos que ainda não foram construídos ou implementados no local. Adicionalmente, as simples contagens de tráfego nem sempre têm em consideração parâmetros que influenciam a segurança rodoviária tais como: geometria da via, volume de tráfego e o comportamento do condutor.

Torna-se então necessário aplicar uma metodologia mais prática e eficaz que tenha presente estes factores e neste campo insere-se a micro-simulação, uma área com grande potencial de desenvolvimento.

A presente Dissertação propõe-se em estabelecer correlações de medidas representativas para a segurança rodoviária através da avaliação dos níveis de conflito (passagem, retaguarda, mudança de via e total) de uma rotunda da cidade de Aveiro. Para tal, foram usados o modelo de simulação VISSIM para a concepção da rede gráfica e a ferramenta SSAM a fim de identificar a frequência de conflitos e medidas representativas da segurança rodoviária. Assim, seleccionaram-se três períodos do dia, correspondentes a três volumes de tráfego distintos, e estabelecidos vários cenários que tivessem em consideração diferentes parâmetros que influenciam a segurança rodoviária: velocidade máxima de 50 km.h⁻¹ e 40 km.h⁻¹, condução mais agressiva e, ainda, a introdução de peões. Foi ainda avaliada a implementação de um projecto alternativo para o mesmo local e comparados os seus resultados através da realização de testes estatísticos. Foram igualmente validados os dados relativos aos conflitos obtidos em ambos os projectos, com os acidentes baseados em modelos de previsão.

Os resultados obtidos demonstraram que não se verificaram diferenças significativas no número de conflitos entre ambos os projectos na generalidade dos cenários analisados, excepto para um volume de tráfego médio, na qual se verificou uma redução dos conflitos no projecto alternativo em 22% e 24% para a velocidade máxima de 50 km.h⁻¹ e uma condução mais agressiva do condutor, respectivamente. No que concerne às medidas representativas, verificaram-se conflitos mais graves na rotunda do estudo de caso, nomeadamente nos volumes de tráfego médios e elevados, cujas diferenças atingiram os 39% para velocidades de circulação mais baixas. O nível de acordo entre os conflitos e a frequência de acidentes foi bom para os conflitos de mudança de via, tendo sido obtidas correlações de 0,91 em todos os cenários analisados.

Keywords

Collisions, conflicts, micro-simulation, road safety, SSAM, VISSIM.

Abstract

Traffic facilities safety is often measured by counting the number of accidents and the severity levels resulting from them. However, this technique is not applicable to projects that are not yet built or implemented on the site. In addition, the simple traffic counts do not always consider parameters that affect traffic safety, such as geometry, traffic volume and driver behavior.

Thus, it is necessary to apply a more practical and effective methodology that incorporates these factors and in this fields it is possible to insert the micro-simulation.

This Thesis has as main objective to establish correlations of representative measures for the traffic safety through the evaluation of a roundabouts safety in the city of Aveiro. For this purpose, the VISSIM simulation model for network design and SSAM tool to identify the conflicts frequencies (crossing, rear-end, lane change and total) and representative measures of traffic safety were used. Thus, three periods of the day were selected, related to three different traffic volumes and several scenarios were established, in order to consider different parameters that affect the traffic safety. The analyzed scenarios were: a speed limit of 50 km.h⁻¹ and 40 km.h⁻¹, a more aggressive driving and also the presence of pedestrians. The implementation of an alternative project for the same site was also evaluated and the results were compared through statistic tests. The data related to the conflicts obtained in both projects were validated with the accidents based in crashes prediction models.

The obtained results demonstrated that there were no significant differences in the number of conflicts between both projects, except for a medium traffic volume, in which there was a reduction of conflicts in the alternative project by 22% and 24% for the maximum speed of 50 km.h⁻¹ and a more aggressive driving, respectively. Regarding the representative measures, there were more serious conflicts in the roundabout of the case study, mainly for the medium and high traffic volumes, whose differences reached 39% for lower traffic speeds. The level of agreement between the conflict and crashes frequencies was good; correlations of 0.91 in all scenarios have been obtained for the lane change conflicts.

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Segurança Rodoviária – Estatísticas da Europa.....	1
1.2	Segurança Rodoviária – O caso de Portugal.....	3
1.2.1	Caracterização comparativa com a União Europeia.....	3
1.2.2	Caracterização da sinistralidade grave no ano de 2009.....	6
1.3	Evolução na Investigação em Segurança Rodoviária.....	12
1.3.1	Medidas e análise da segurança rodoviária.....	14
1.3.2	Modelação da segurança rodoviária.....	14
1.4	Objectivos.....	15
1.5	Estrutura da Dissertação.....	16
2.	Revisão bibliográfica.....	17
3.	Modelos de previsão de acidentes e técnicas de análise de conflitos de tráfego.....	19
3.1	Modelos de Previsão de Acidentes.....	19
3.1.1	Modelos estatísticos e baseados em “quase-acidentes”.....	19
3.2	Técnica de análise de conflitos de tráfego.....	20
3.2.1	Tipos de conflitos de tráfego.....	21
3.2.2	Risco de colisão (ROC).....	23
3.2.3	Tempo até à colisão (TTC).....	25
3.2.4	Extensão do tempo até à colisão (TET, TIT).....	26
3.2.5	Tempo até às passadeiras (TTZ).....	26
3.2.6	Tempo de pós invasão (PET).....	27
3.2.7	Outros indicadores para a segurança rodoviária.....	27
3.2.8	Factores que influenciam a segurança rodoviária.....	28
4.	Modelos de micro-simulação.....	29
4.1	Introdução.....	29
4.2	Modelos de simulação de tráfego.....	31
4.3	Modelos para a segurança rodoviária.....	31
4.4	Síntese Conclusiva.....	33
5.	Metodologia.....	35
5.1	Modelo VISSIM.....	36
5.1.1	Base de dados para a simulação.....	37
5.1.2	Concepção da rede gráfica.....	41
5.2	Características da aplicação SSAM.....	46
5.2.1	Ambiente de trabalho.....	46
5.2.2	Classificação dos conflitos.....	50
5.3	Estudo de caso.....	50
5.4	Análise estatística.....	59
5.4.1	Comparação com os modelos de previsão de acidentes.....	60
5.5	Validação das unidades e filtragem dos resultados.....	63
6.	Resultados e sua discussão.....	65
6.1	Comparação dos 4 cenários propostos para o estudo de caso.....	65
6.1.1	Volume de tráfego baixo.....	65
6.1.2	Volume de tráfego médio.....	67

6.1.3	Volume de tráfego elevado.....	70
6.2	Projecto alternativo.....	72
6.2.1	Volume de tráfego baixo.....	74
6.2.2	Volume de tráfego médio.....	76
6.2.3	Volume de tráfego elevado.....	78
6.3	Análise estatística dos resultados obtidos para ambos os projectos	79
6.4	Correlação com um modelo de previsão de acidentes.....	85
6.5	Análise da filtragem das colisões e dos eventos de baixa velocidade	86
7.	Conclusões e trabalhos futuros.....	87
8.	Referências.....	91
Anexos	97
Anexo A – Características do SSAM.....		97
Algoritmos para avaliação das medidas representativas da segurança rodoviária em cruzamentos.....		97
Algoritmos para a identificação dos conflitos		103
Termos e definições.....		105
Anexo B – Volumes de Tráfego.....		107
Anexo C – Resultados do VISSIM.....		109
Anexo D – Previsão de acidentes		117
Anexo E – Resultados do SSAM.....		120
Anexo F – Análise estatística.....		131

Índice de Figuras

Figura 1: Distribuição das vítimas mortais na UE-27 no período entre 2000 e 2008 [4].....	2
Figura 2: Distribuição das vítimas mortais durante o ano de 2008 segundo a faixa etária [4].....	2
Figura 3: Distribuição das vítimas mortais durante o ano de 2008 segundo o modo de transporte [4].....	3
Figura 4: Comparação do número de vítimas mortais da UE-27 com os objectivos propostos [3].....	3
Figura 5: Evolução comparativa do número de vítimas mortais por milhão de habitantes em Portugal e na UE-27 [3]	4
Figura 6: Evolução do número de vítimas mortais em Portugal e medidas para a segurança rodoviária [5].....	6
Figura 7: Condutores vítimas mortais, segundo o sexo e grupo etário [5]	7
Figura 8: Condutores vítimas mortais, segundo manobras e acções [5]	7
Figura 9: Causas de ocorrência de acidentes que resultaram em vítimas mortais, segundo informações dadas às autoridades [5].....	8
Figura 10: Sinistralidade grave segundo a sua natureza [5]	8
Figura 11: Distribuição da sinistralidade grave de acordo com a localização [5].....	9
Figura 12: Distribuição do número de vítimas mortais por tipo de via [5]	9
Figura 13: Distribuição do número de acidentes com vítimas por tipo de via [5]	10
Figura 14: Veículos intervenientes nos acidentes [5]	10
Figura 15: Distribuição etária das vítimas por modo de transporte [5].....	11
Figura 16: Peões vítimas mortais, segundo as suas acções [5].....	11
Figura 17: Peões vítimas mortais e feridos graves, segundo a localização [5].....	12
Figura 18: Modelo conceptual dos elementos chave para um sistema de tráfego [adaptado de 11].....	13
Figura 19: Pirâmide de <i>Hyden</i> para segurança rodoviária [adaptado de 11].....	21
Figura 20: Tipos de conflito para uma intersecção em forma de “T” e uma rotunda de três ramos [adaptado de 46]	22
Figura 21: Localizações dos conflitos entre peões e veículos numa rotunda [adaptado de 46]	23
Figura 22: Conflitos envolvendo ciclistas num cruzamento de quatro ramos [adaptado de 46]	23
Figura 23: Conflitos envolvendo ciclistas numa rotunda [adaptado de 46].....	23
Figura 24: Cálculo do tempo até à colisão para o instante de tempo inicial [adaptado de 11]	25
Figura 25: Cálculo do tempo até à colisão para o instante de tempo final [adaptado de 11].....	26
Figura 26: Definição em termos gráficos, do tempo de exposição e tempo integrado do TTC [adaptado de 11]	26
Figura 27: Exemplo para o cálculo do tempo de pós invasão [adaptado de 11]	27
Figura 28: Diagrama do fluxo de informação [adaptado de 19].....	32
Figura 29: Fluxograma com a metodologia usada.....	35
Figura 30: Distribuição da desaceleração para um veículo ligeiro [62].....	38
Figura 31: Lógica de <i>Wiedemann</i> para o algoritmo <i>car-following</i> [adaptado de 62].....	39
Figura 32: Intervalos de desaceleração dos veículos envolvidos numa situação de mudança de via [adaptado de 62].....	40
Figura 33: Definição das ligações (azul) e conectores (rosa) em VISSIM [62]	41
Figura 34: Exemplo de uma regra de prioridade num cruzamento [adaptado de 62]	42
Figura 35: Definição de uma zona de conflito no modelo VISSIM [62].....	43
Figura 36: Definição das linhas de paragem dos semáforos numa dada passadeira	44
Figura 37: Fluxograma da interface entre os modelos VISSIM e SSAM.....	45

Figura 38: Interface do SSAM para a definição e configuração do caso em análise [58]	46
Figura 39: Menu do SSAM com a identificação dos conflitos [58]	47
Figura 40: Sumário dos tipos de conflito e medidas representativas no SSAM [58].....	47
Figura 41: Menu do SSAM para a filtragem dos resultados [58].....	48
Figura 42: Menu do SSAM para a realização de testes estatísticos [58]	49
Figura 43: Menu do SSAM para visualização de um cenário do VISSIM [58]	49
Figura 44: Ilustração do ângulo de conflito [19].....	50
Figura 45: Numeração dos ramos de acesso à rotunda do estudo de caso [63]	51
Figura 46: Distribuição diária do volume médio de tráfego durante os dias úteis [64]	52
Figura 47: Distribuição do volume de tráfego por modo de transporte [64].....	53
Figura 48: Simulação da rotunda do hospital no VISSIM [63]	55
Figura 49: Localização das zonas de conflito [63].....	55
Figura 50: Regra de prioridade no ramo 4 [63].....	55
Figura 51: Simulação e imagem da área de redução da velocidade do ramo 4 [63].....	56
Figura 52: Simulação e imagem da paragem obrigatória na entrada e saída do hospital [63]	56
Figura 53: Localização na simulação das paragens dos autocarros nos ramos 1 e 4 [63].....	56
Figura 54: Simulação do caso de estudo com as ligações destinadas aos peões [63]	57
Figura 55: Definição da regra de prioridade para a passadeira existente no ramo 3 [63]	57
Figura 56: Visualização dos ângulos de conflito propostos para o estudo de caso [adaptado de 58]	59
Figura 57: Localização das redes nodais para a obtenção de Q_s [63].....	61
Figura 58: Localização das redes nodais para a obtenção de Q_c [63]	61
Figura 59: Exemplo de uma representação imprecisa no VISSIM [63]	64
Figura 60: Localização dos conflitos no cenário 1, para um volume de tráfego baixo.....	66
Figura 61: Localização dos conflitos no cenário 2, para um volume de tráfego baixo.....	66
Figura 62: Localização dos conflitos no cenário 3, para um volume de tráfego baixo.....	67
Figura 63: Localização dos conflitos no cenário 4, para um volume de tráfego baixo.....	67
Figura 64: Localização dos conflitos no cenário 1, para um volume de tráfego médio	69
Figura 65: Localização dos conflitos no cenário 2, para um volume de tráfego médio	69
Figura 66: Localização dos conflitos no cenário 3, para um volume de tráfego médio	69
Figura 67: Localização dos conflitos no cenário 4, para um volume de tráfego médio	69
Figura 68: Localização dos conflitos no cenário 1, para um volume de tráfego elevado.....	71
Figura 69: Localização dos conflitos no cenário 2, para um volume de tráfego elevado.....	71
Figura 70: Localização dos conflitos no cenário 3, para um volume de tráfego elevado.....	72
Figura 71: Localização dos conflitos no cenário 4, para um volume de tráfego elevado.....	72
Figura 72: Concepção geométrica da rotunda do projecto alternativo [64]	72
Figura 73: Modelação do projecto alternativo no VISSIM [64].....	74
Figura 74: Localização dos conflitos no cenário 1 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo	75
Figura 75: Localização dos conflitos no cenário 2 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo	75
Figura 76: Localização dos conflitos no cenário 3 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo	75
Figura 77: Localização dos conflitos no cenário 4 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo	75
Figura 78: Localização dos conflitos no cenário 1 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio.....	77
Figura 79: Localização dos conflitos no cenário 2 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio.....	77

Figura 80: Localização dos conflitos no cenário 3 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio.....	77
Figura 81: Localização dos conflitos no cenário 4 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio.....	77
Figura 82: Localização dos conflitos no cenário 1 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado	79
Figura 83: Localização dos conflitos no cenário 2 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado	79
Figura 84: Localização dos conflitos no cenário 3 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado	79
Figura 85: Localização dos conflitos no cenário 4 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado	79
Figura 86: Comparação do número médio do total de conflitos de ambos os projectos para um volume de tráfego baixo.....	80
Figura 87: Comparação do número total de conflitos de ambos os projectos para um volume de tráfego médio	81
Figura 88: Comparação do número total de conflitos de ambos os projectos para um volume de tráfego elevado	83

Índice de Quadros

Quadro 1: Comparação da evolução do número de vítimas mortais em Portugal e o valor médio da UE-27 [3,5]	4
Quadro 2: Comparação sobre o estabelecimento dos objectivos do PNPR [5]	5
Quadro 3: Calendarização do trabalho	36
Quadro 4: Descrição dos ramos de acesso à rotunda do estudo de caso	51
Quadro 5: Fluxo médio de tráfego por dias de semana [64]	52
Quadro 6: Volumes de tráfego inseridos na simulação para os três períodos seleccionados	54
Quadro 7: Fluxo de peões registados no local para os ramos da rotunda	57
Quadro 8: Parâmetros de entrada para os diferentes cenários	58
Quadro 9: Média das medidas representativas da segurança rodoviária em função da tipologia de conflitos no período entre as 6:00h-7:00h	65
Quadro 10: Média das medidas representativas da segurança rodoviária em função da tipologia de conflitos no período entre as 10:00h-11:00h	67
Quadro 11: Média das medidas representativas da segurança rodoviária em função da tipologia de conflitos no período entre as 17:00h-18:00h	70
Quadro 12: Tempos de monitorização dos sinais, inseridos na simulação para a modelação dos semáforos	73
Quadro 13: Média das medidas representativas da segurança para o projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo	74
Quadro 14: Média das medidas representativas da segurança para o projecto alternativo, para um volume de tráfego médio	76
Quadro 15: Média das medidas representativas da segurança para o projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado	78
Quadro 16: Comparação das médias do total de conflitos, para um volume de tráfego baixo.	80
Quadro 17: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, para um volume de tráfego baixo	81
Quadro 18: Comparação das médias do total de conflitos, para um volume de tráfego médio	82
Quadro 19: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, para um volume de tráfego médio	83
Quadro 20: Comparação das médias do total de conflitos, para um volume de tráfego elevado	84
Quadro 21: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, para um volume de tráfego elevado	84
Quadro 22: Correlação de <i>Spearman</i> entre os conflitos totais e a frequência de acidentes	85
Quadro 23: Sumário das colisões virtuais e dos eventos de baixa velocidade removidos	86

Nomenclaturas

- ACC:** Controlo automático da velocidade (“*Automatic Cruise Control*”)
- ADAS:** Sistemas avançados de assistência à condução (“*Advanced Driver Assistance Systems*”)
- AIMSUN:** *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks*
- ANSR:** Autoridade Nacional para a Segurança Rodoviária
- ASME:** *American Society for Mechanical Engineers*
- A_1 :** Número anual de acidentes entre veículos que entram e circulam na rotunda
- A_2 :** Número anual de acidentes de retaguarda envolvendo veículos motorizados
- A_3 :** Número anual de “outros” acidentes envolvendo veículos motorizados
- A_4 :** Número anual de acidentes envolvendo peões
- CEP:** Ponto final do conflito (“*Conflict Ending Point*”)
- ConflictAngle:** Ângulo estimado da colisão hipotética dos veículos
- CORSIM:** *Corridor Simulation*
- CSP:** Ponto inicial do conflito (“*Conflict Starting Point*”)
- C_1 :** Constante do modelo de acidentes relativa ao tipo de intersecção
- C_2 :** Constante do modelo de acidentes relativa à velocidade máxima
- C_3 :** Constante do modelo de acidentes relativa à localização
- C_4 :** Variável adicional do modelo de acidentes
- C_5 :** Parâmetro específico do modelo de acidentes
- d :** Diferença entre as ordens
- DCI:** Diâmetro do Círculo Inscrito
- DIS₁:** Distância projectada para a localização actual do veículo
- DIS₂:** Distância projectada para a localização futura do veículo
- DR:** Taxa inicial de desaceleração (“*Deceleration Rate*”)
- DRACULA:** *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation*
- DST:** Desaceleração até um tempo de segurança (“*Deceleration-to-Safety Time*”)
- E :** Número estimado de acidentes
- EUSKA:** *Elektronische Unfalltypen-Steckkarte*
- f :** Coeficiente de fricção lateral
- FirstHeading:** Posição do primeiro veículo durante o primeiro conflito
- FirstLink:** Número que indica a ligação do primeiro veículo
- FirstVMinTTC:** Velocidade do primeiro veículo no t_{MinTTC}
- FirstWidth:** Largura do primeiro veículo
- FHWA:** *Federal Highway Administration*
- HOV:** Vias de alta ocupação (“*High Occupation Vehicle*”)
- HUTSIM:** *Helsinki Urban Traffic Simulation*
- H_0 :** Hipótese nula do teste estatístico
- ISA:** Assistente inteligente da velocidade (“*Intelligent Speed Assistant*”)
- ISAT:** *Interchange Safety Analysis Tool*
- ITS:** Sistemas inteligentes de transportes (“*Intelligent Transport Systems*”)

MaxV: Velocidade máxima dos veículos

N: Número de ordens emparelhadas

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PARAMICS: *Parallel Microscopic Simulation*

PET: Tempo de pós invasão (“*Post-Encroachment Time*”)

PNPR: Plano Nacional de Prevenção Rodoviária

***PostCrashHeading*:** Posição estimada dos veículos na sequência da colisão hipotética

***PostCrashV*:** Estimativa da velocidade da colisão hipotética

PRN2000: Plano Rodoviário Nacional

PSD: Proporção da distância de travagem (“*Proportion to Stopping Distance*”)

Q_A : Soma de Q_E e Q_S

Q_C : Volume de tráfego na zona de circulação da rotunda compreendida entre a saída e a entrada do ramo

Q_E : Volume de tráfego em cada ramo de entrada

Q_P : Volume de peões que cruzam o ramo através das passadeiras

Q_S : Volume de tráfego em cada ramo de saída

Q_1 : Volume de tráfego na via principal

Q_2 : Volume de tráfego na via secundária

R: Raio interior da curva horizontal

ROC: Risco de colisão (“*Risk of Collision*”)

R_s : Coeficiente de *Spearman*

s: Sobrelevação

STCT: Técnica Sueca de Conflitos de Tráfego (“*Swedish Traffic Conflict Technique*”)

***SecondHeading*:** Posição do segundo veículo durante o primeiro conflito

***SecondLink*:** Número que indica a ligação do segundo veículo

***SecondVMinTTC*:** Velocidade do segundo veículo no t_{MinTTC}

***SecondWidth*:** Largura do segundo veículo

SINDI: *Safety Indicators*

SSAM: *Surrogate Safety Assessment Methodology*

t: Valor do teste de *Student*

TA: Tempo até ao acidente (“*Time to Accident*”)

TET: Tempo de exposição do TTC (“*Time Exposed TTC*”)

TEXAS: *Traffic Experimental Analytical Simulation*

TIT: Tempo integrado do TTC (“*Time Integrated TTC*”)

TMDA: Tráfego Médio Diário Anual

t_{MinTTC} : Tempo da simulação para o valor mínimo de TTC

TPMA: *Traffic Performance on Major Arterials*

TR: Taxa de redução

TRJ: Ficheiros da trajectória dos veículos

TRL: *Transport Research Laboratory*

TTC: Tempo até à colisão (“*Time to Collision*”)

TTZ: Tempo até às passadeiras (“*Time to Zebra*”)

UE-27: União Europeia a 27 Estados membros

V: Velocidade actual do veículo

V_C : Velocidade dos veículos na zona de circulação da rotunda compreendida entre a saída e a entrada do ramo

VH: Volume horário numa dada direcção

VISSIM: *Verkehr In Städten Simulation*

V_{40} : Velocidade máxima de 40 km.h⁻¹

V_{50} : Velocidade máxima de 50 km.h⁻¹

xFirstCEP: Coordenada x do primeiro veículo CEP

xFirstCSP: Coordenada x do primeiro veículo no CSP

xMinPET: Coordenada x no valor mínimo de PET

xSecondCEP: Coordenada x do segundo veículo no CEP

xSecondCSP: Coordenada x do segundo veículo no CSP

yFirstCEP: Coordenada y do primeiro veículo no CEP

yFirstCSP: Coordenada y do primeiro veículo no CSP

yMinPET: Coordenada y no valor mínimo de PET

ySecondCEP: Coordenada y do segundo veículo no CEP

ySecondCSP: Coordenada y do segundo veículo no CSP

z: Variável aleatória normal padrão

α : Nível de significância do teste t de *Student*

ΔV : Diferença de velocidade máxima dos veículos

Φ_{MEL} : Factor relacionado com o número de vias de circulação

1. Introdução

O século XX ficou marcado pela melhoria das condições de vida e geração de riqueza económica nas nações mais industrializadas que levou ao aumento populacional, nomeadamente nas áreas urbanas. Associado ao crescimento das cidades e vilas, aumentaram igualmente as necessidades relacionadas com a mobilidade e o fluxo de veículos que ocupam a infra-estrutura rodoviária.

As estatísticas indicam que o parque automóvel na União Europeia aumentou 2% durante o período entre 2000 e 2007, sendo que no caso de Portugal, essa variação foi de 21% [1]. Porém, a capacidade das infra-estruturas foi ultrapassada face ao número de veículos existentes, levando a uma deterioração no desempenho do tráfego, para além das dificuldades em manter níveis aceitáveis de segurança.

Esta situação exige uma melhor utilização das instalações de tráfego existentes e neste campo, o planeamento e a engenharia dos transportes assumem um papel importante a fim de otimizar e equilibrar os factores chave como a segurança, acessibilidades, qualidade, desempenho e o ambiente, de modo a satisfazer as necessidades e exigências dos diferentes utilizadores de um dado sistema de tráfego.

Assim sendo, a presente Dissertação focaliza-se na avaliação da segurança rodoviária urbana usando medidas representativas da mesma que permitem identificar de forma objectiva, os problemas relativos a uma dada intersecção existente e também para projectos que ainda não foram concebidos.

Neste capítulo foi feito um breve resumo sobre o fenómeno da sinistralidade rodoviária ao nível da União Europeia e mais especificamente em Portugal, sendo que neste último, foi descrito de modo detalhado, o fenómeno da sinistralidade grave ocorrida durante o ano de 2009 em termos dos factores que intervêm no sistema rodoviário.

Esta secção inclui ainda, uma descrição sobre a evolução da investigação da segurança rodoviária nas quais foram referidas algumas teorias e ainda, diferentes abordagens para a modelação da mesma.

1.1 Segurança Rodoviária – Estatísticas da Europa

Na União Europeia (UE-27), os dados da sinistralidade referentes ao ano de 2007 apontam para cerca de um milhão e trezentos mil acidentes, dos quais 42 mil resultaram em vítimas mortais. Isto correspondeu a uma diminuição, face aos valores do ano 2000, de 14% e 25%, respectivamente [2,3].

Na Figura 1 pode ser visualizada a comparação do número de vítimas mortais por cada milhão de habitantes referentes ao ano de 2000 e 2008, para os países da UE-27. A média de vítimas por um milhão de habitantes em 2008 foi de 78, o que representou uma diminuição em 33%, face aos valores de 2000.

No que concerne a Portugal, este foi o segundo país que mais diminuiu em termos relativos, com uma redução de 55%, passando de 184 para 83 vítimas por cada milhão de habitantes [4].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

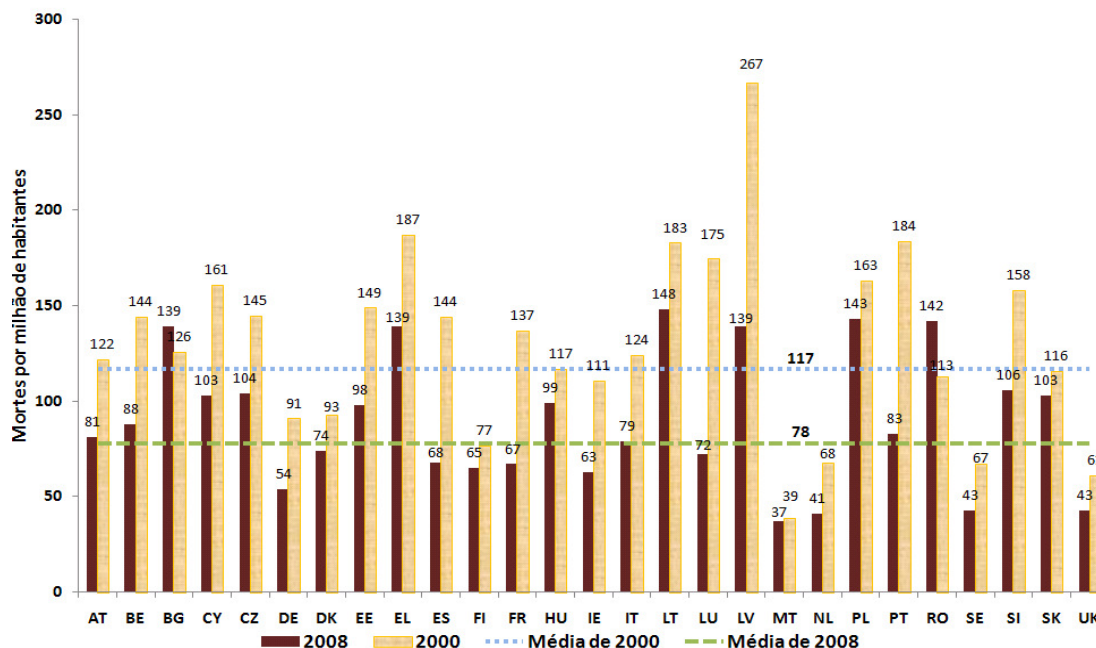


Figura 1: Distribuição das vítimas mortais na UE-27 no período entre 2000 e 2008 [4]

De acordo com a faixa etária e segundo a Figura 2, 39% das vítimas mortais registadas durante 2008 tinham entre 25 e 49 anos, seguido das pessoas com idade superior a 65 anos, a que corresponderam 20% dos casos [4].

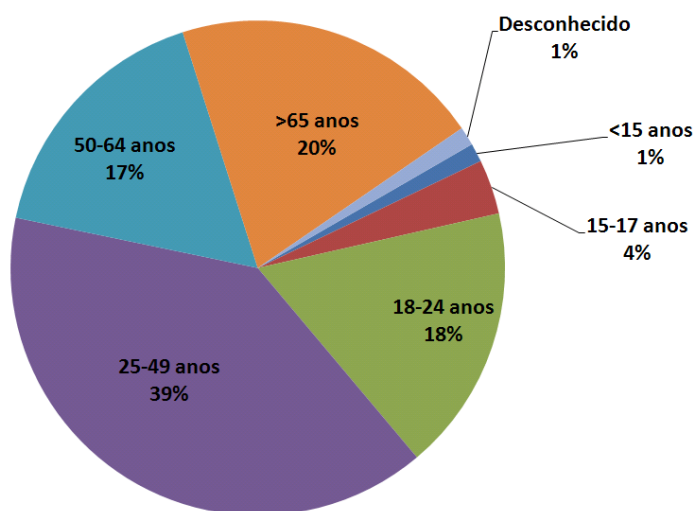


Figura 2: Distribuição das vítimas mortais durante o ano de 2008 segundo a faixa etária [4]

A Figura 3 ilustra a distribuição das vítimas mortais durante o ano de 2008, para diferentes modos de transporte. A maioria viajava em carro e táxi (49%), seguido dos peões, com 21%. Refira-se que os condutores das viaturas motorizadas representaram 60% dos falecidos registados, enquanto a percentagem relativa aos ocupantes foi de 19% [4].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

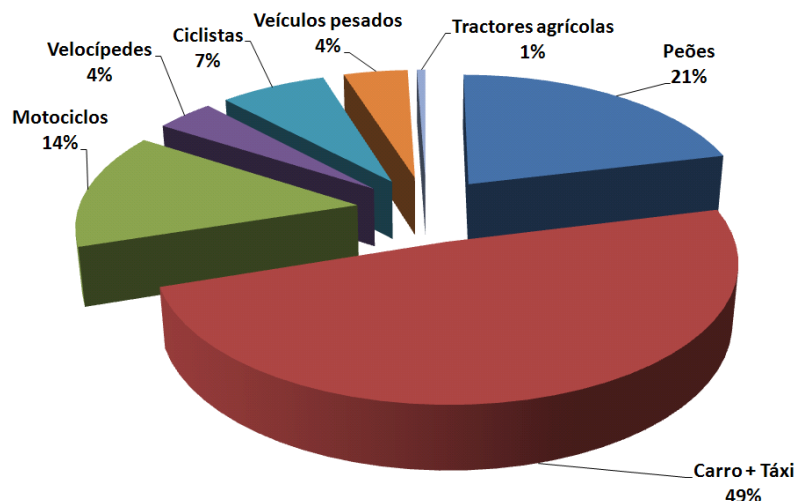


Figura 3: Distribuição das vítimas mortais durante o ano de 2008 segundo o modo de transporte [4]

Apesar do número de vítimas verificar uma tendência descendente desde 1990, os valores continuam abaixo dos objectivos propostos pela União Europeia em reduzir o número de vítimas em 2010, para metade dos valores registados em 2001 [4], conforme ilustrado na Figura 4.

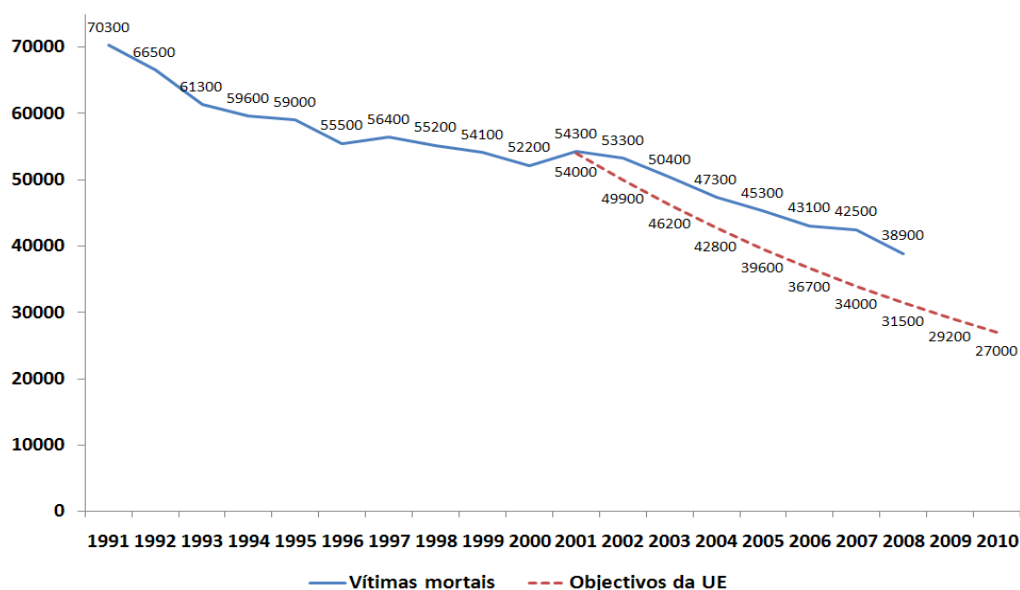


Figura 4: Comparação do número de vítimas mortais da UE-27 com os objectivos propostos [3]

1.2 Segurança Rodoviária – O caso de Portugal

1.2.1 Caracterização comparativa com a União Europeia

Portugal tem registado uma evolução interessante no combate à sinistralidade rodoviária, aproximando-se gradualmente do valor médio de vítimas mortais por cada milhão

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

de habitantes da UE-27 (ver Figura 5). Por esse motivo, recebeu um prémio atribuído pela União Europeia em 2008.

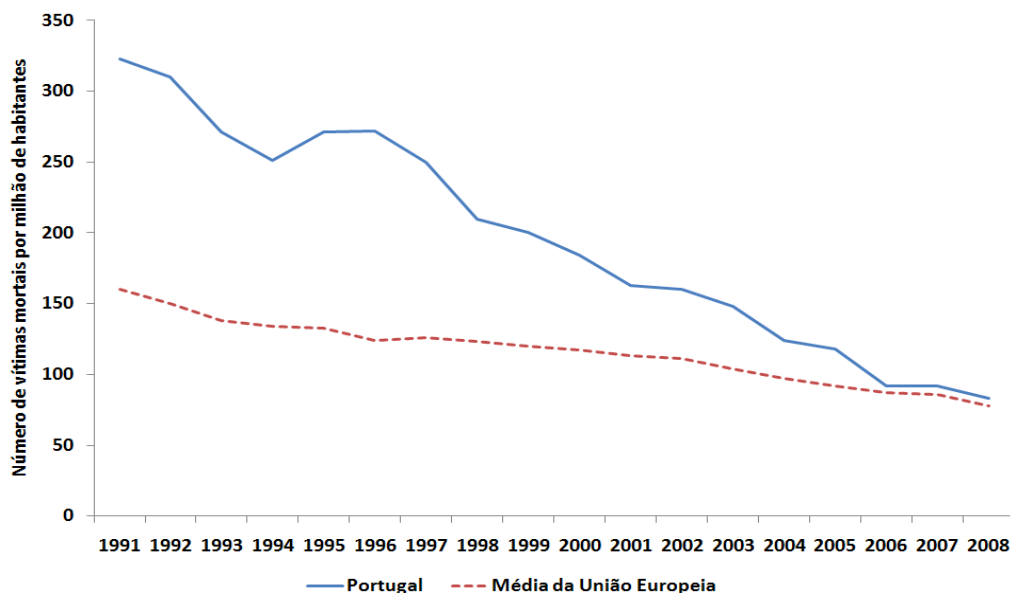


Figura 5: Evolução comparativa do número de vítimas mortais por milhão de habitantes em Portugal e na UE-27 [3]

Segundo o Quadro 1, Portugal passou de uma diferença superior a 100%, face ao número de vítimas por milhão de habitantes na UE-27 em 1991, para 6% no ano de 2008. Isto correspondeu a uma redução em 96%, face à redução da média de vítimas mortais na UE-27 durante o mesmo período [3,5].

Quadro 1: Comparação da evolução do número de vítimas mortais em Portugal e o valor médio da UE-27 [3,5]

Ano	UE-27	Variação (%)	Portugal	Variação (%)	Variação Comparativa (%)
1991	160	—	323	—	102%
2000	117	-27%	184	-43%	68%
2008	78	-51%	83	-74%	6%

No ano de 2009 foram registados em Portugal, 35680 acidentes com vítimas, ou seja, acidentes em que os envolvidos sofreram danos corporais em consequência dos mesmos, em que resultaram 737 vítimas mortais e 2624 feridos graves [5]. O número de vítimas mortais foi de 69 por cada milhão de habitantes [5].

Refira-se que o número de mortos apurado correspondeu ao número de vítimas que permaneceram no local do acidente e também as que foram deslocadas até ao hospital, falecendo posteriormente. A contabilização do número de vítimas mortais a 30 dias, valor de

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

referência europeu, é feita multiplicando o valor de falecidos por um coeficiente de correcção de 1,14. Assim, a estimativa do número de vítimas mortais a 30 dias durante o ano 2009, foi de 840 [5].

Face à gravidade do fenómeno da sinistralidade rodoviária em Portugal, o Governo Português elaborou, no ano de 2003, o primeiro Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR). Os seus objectivos principais consistiam em atingir em 2010, uma redução de 50% do número de mortos e feridos graves em relação à média de sinistralidade verificada no período entre 1998 e 2000 e também, reduzir em 60%, as vítimas relacionadas com peões, utentes de veículos motorizados de duas rodas e utentes acidentados no interior das localidades [6]. Conforme pode ser visualizado no Quadro 2, os objectivos propostos no PNPR foram atingidos antecipadamente em 2009 [5].

Quadro 2: Comparação sobre o estabelecimento dos objectivos do PNPR [5]

	Média 1998-2000	2009	Variação (%)	Objectivos 2010
Acidentes com vítimas:				
Vítimas Mortais	1748	737	-58%	874 (-50%)
Feridos Graves	7597	2624	-66%	3799 (-50%)
Atropelamento a peões:				
Vítimas Mortais	346	130	-62%	138 (-60%)
Feridos Graves	1538	501	-67%	615 (-60%)
Veículos a 2 rodas c/motor:				
Vítimas Mortais	438	152	-65%	175 (-60%)
Feridos Graves	2227	627	-72%	891 (-60%)
Acidentes Dentro Localidades:				
Vítimas Mortais	718	92	-87%	287 (-60%)
Feridos Graves	4715	434	-91%	1886 (-60%)

Apesar do sucesso obtido, Portugal continua muito afastado de países com melhores padrões de segurança rodoviária, como sendo a Suécia e Reino Unido com 43 vítimas por cada milhão de habitantes ou ainda os casos de Malta e Holanda que apresentam os melhores índices, com 37 e 41 vítimas por milhão de habitantes [4].

Recentemente, foi elaborada uma nova estratégia de segurança rodoviária para o período de 2008-2015, cujo objectivo é colocar Portugal entre os 10 países da UE com mais baixa sinistralidade rodoviária por milhão de habitantes. Em termos quantitativos, a previsão é alcançar em 2015, 62 vítimas por milhão de habitantes [7].

Segundo a Autoridade Nacional para a Segurança Rodoviária (ANSR), o sucesso alcançado por Portugal desde 1988 até ao momento presente, teve por base a implementação de medidas durante o mesmo período, entre as quais se destacam a inspecção periódica obrigatória dos veículos, limites de velocidade nas vias e também, sucessivas alterações ao código da estrada que tomaram as punições mais severas (ver Figura 6) [5].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Adicionalmente, deu-se o desenvolvimento do parque automóvel ao nível das características de segurança activas (por exemplo, a utilização de sistemas “ABS”) e passiva (cintos de segurança, airbags ou melhorias das características dos materiais da carroçaria do automóvel) [5].

Um outro factor associado a esta diminuição foi a conclusão de algumas vias de comunicação incluídas no Plano Rodoviário Nacional (PRN2000), como por exemplo, a A25 (ex-IP5) [8], bem como a requalificação de outras vias principais e secundárias de grande sinistralidade rodoviária.

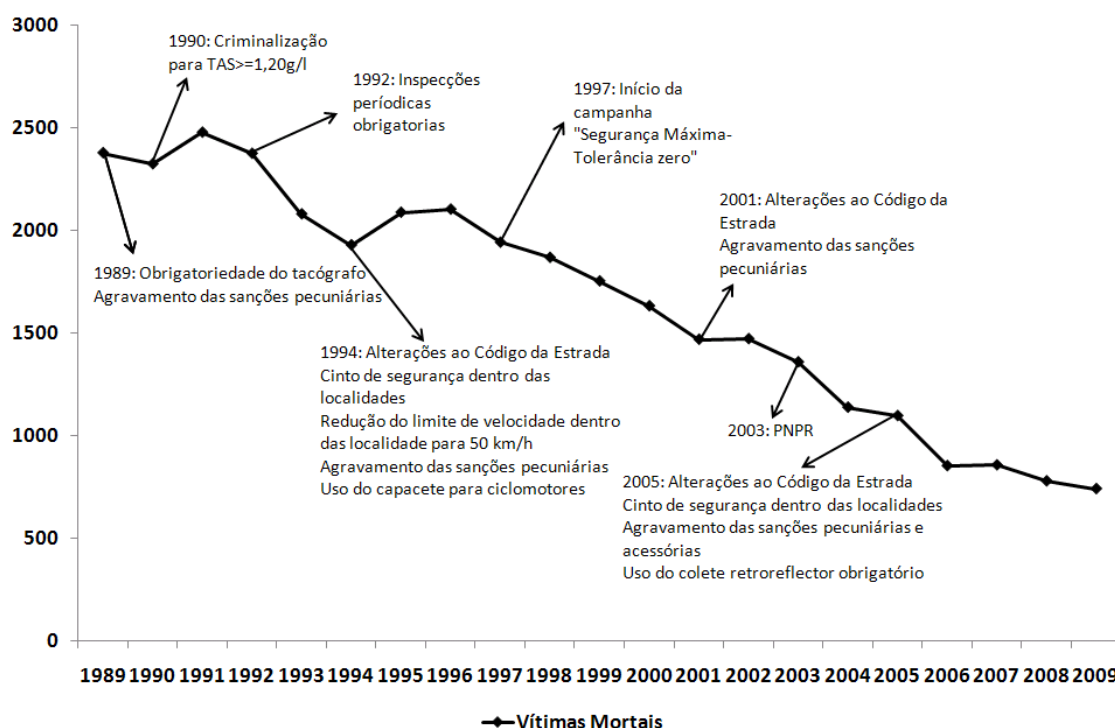


Figura 6: Evolução do número de vítimas mortais em Portugal e medidas para a segurança rodoviária [5]

1.2.2 Caracterização da sinistralidade grave no ano de 2009

Nesta secção é caracterizada a sinistralidade grave em Portugal com base nos dados fornecidos pela ANSR [5], referentes ao ano de 2009 em termos dos factores intervenientes no sistema rodoviário, nomeadamente o condutor, tipo de via, veículo e ambiente.

Caracterização do condutor

De acordo com a faixa etária, os condutores que mais contribuíram em termos de vítimas mortais estavam situados entre os 20 e os 44 anos, sendo que o sexo masculino apresentou a maior incidência dos casos (ver Figura 7). A faixa etária dos 25-29 anos apresentou o valor mais elevado de vítimas, quer para o sexo masculino, quer para o sexo feminino, com 44 e 6 casos, respectivamente [5].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

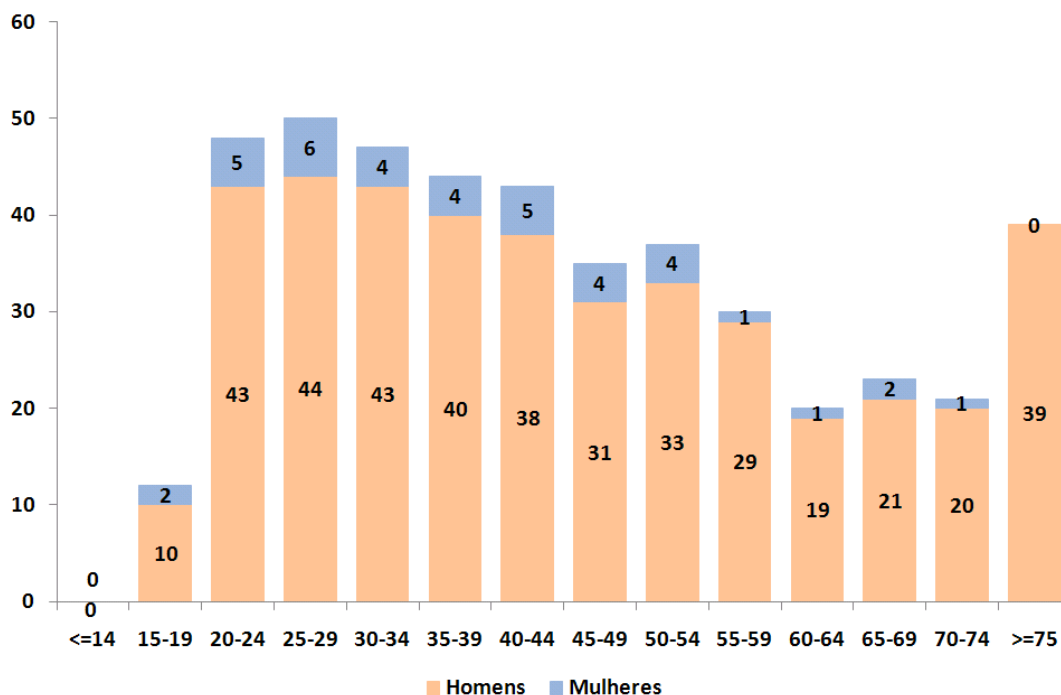


Figura 7: Condutores vítimas mortais, segundo o sexo e grupo etário [5]

Um factor importante em termos de acidentes diz respeito às manobras e acções que antecederam os mesmos e cujos resultados são ilustrados na Figura 8. Em 2009, estas cobraram 450 vítimas mortais, sendo que a maior parte, seguiam em marcha normal (318), seguido das acções evasivas em filas de trânsito (48). Tem-se ainda outro tipo de acções, tais como inversões do sentido de marcha, travagens bruscas quando o veículo iniciou a sua marcha, ou mudanças de direcção para a direita e a esquerda, que também resultaram em vítimas mortais e que foram inseridos no mesmo grupo (21), pois as suas contribuições individuais foram pequenas [5].

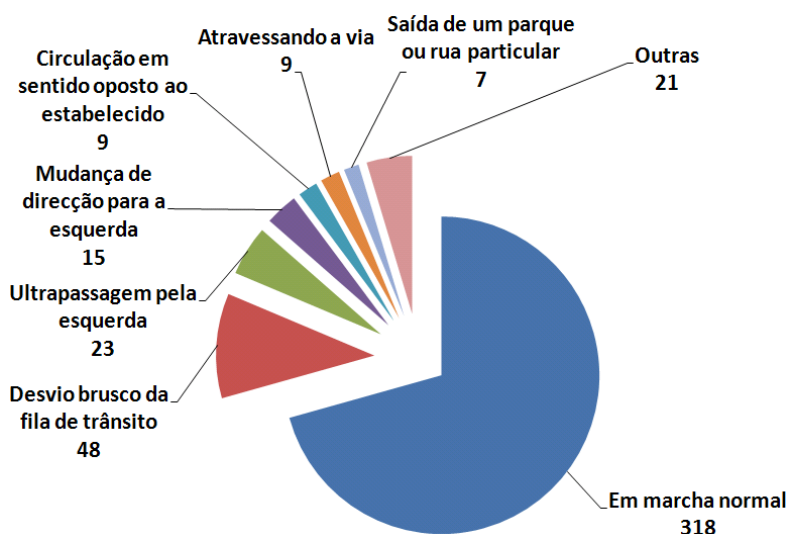


Figura 8: Condutores vítimas mortais, segundo manobras e acções [5]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Associadas ao tipo de manobras e ações ilustradas na Figura 8, existem ainda informações complementares que são incluídas nos relatórios das autoridades no momento da notificação dos acidentes. Apesar da maior parte, não ter sido identificada (ver Figura 9), identificaram-se no universo de 450 vítimas mortais, 86 devido ao excesso de velocidade por parte dos condutores, seguido das manobras irregulares e o desrespeito pela sinalização vertical com 22 e 14 óbitos, respectivamente [5].

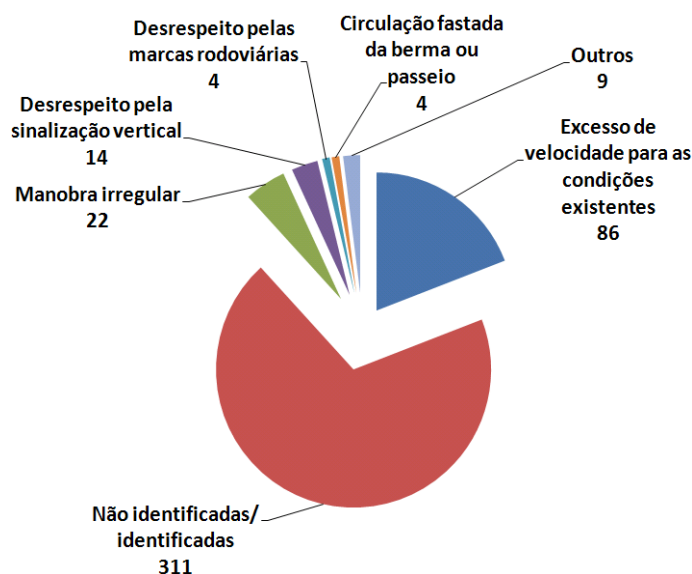


Figura 9: Causas de ocorrência de acidentes que resultaram em vítimas mortais, segundo informações dadas às autoridades [5]

No que diz respeito à natureza dos acidentes, 45% das vítimas mortais resultaram de colisões entre veículos, seguido dos despistes, com 38% (ver Figura 10). No global, as colisões foram as principais causas da sinistralidade grave, nomeadamente nos acidentes em que resultaram feridos graves, com 51% dos casos [5].

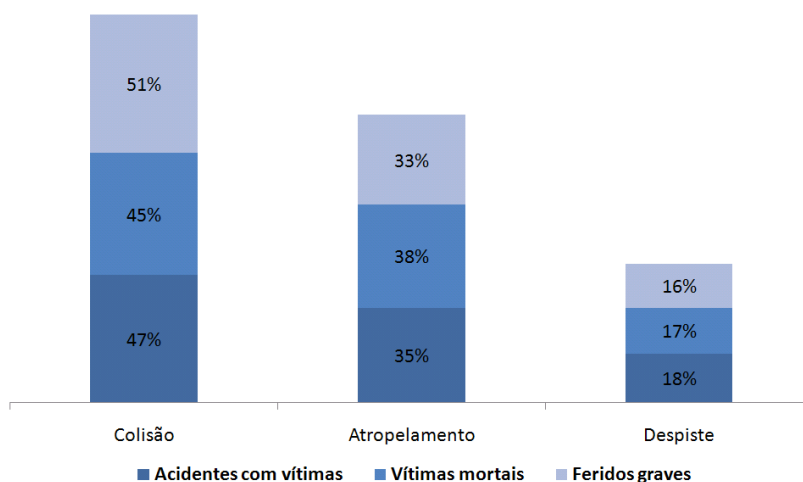


Figura 10: Sinistralidade grave segundo a sua natureza [5]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Distribuição Espacial

De acordo com a localização espacial e segundo a Figura 11, 71% dos acidentes com vítimas ocorreram dentro das localidades, porém, o número de vítimas mortais foi mais elevado fora das mesmas, correspondendo a 54% dos casos [5].

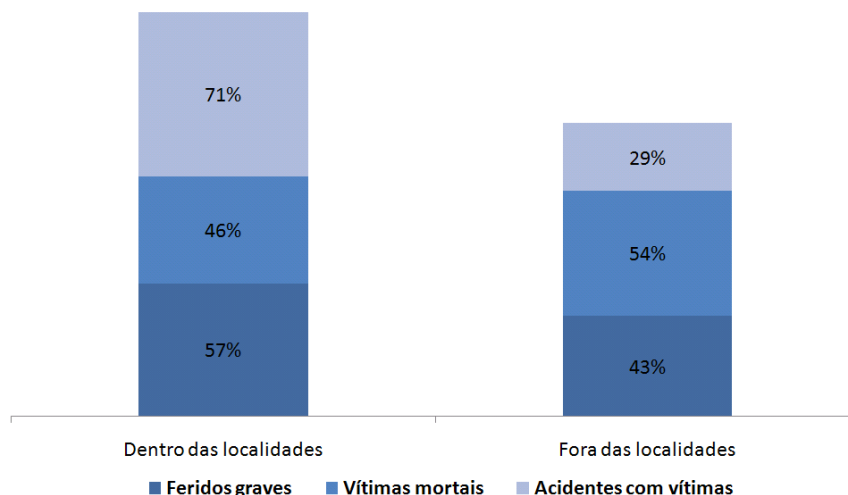


Figura 11: Distribuição da sinistralidade grave de acordo com a localização [5]

No que concerne ao tipo de via, 39% das vítimas mortais verificaram-se em Estradas Nacionais [5], facto expectável, dado que a grande maioria caracteriza-se pelo elevado número de curvas, pavimento em mau estado ou sinalização deficiente, conforme pode ser visualizado na Figura 12.

A perigosidade das estradas nacionais é ainda reforçada através da Figura 13, pois a percentagem de acidentes com vítimas (24%) é menos do que a metade da verificada em arruamentos (54%), ou seja, a ocorrência de acidentes nas estradas nacionais é menor, mas com maior gravidade [5].

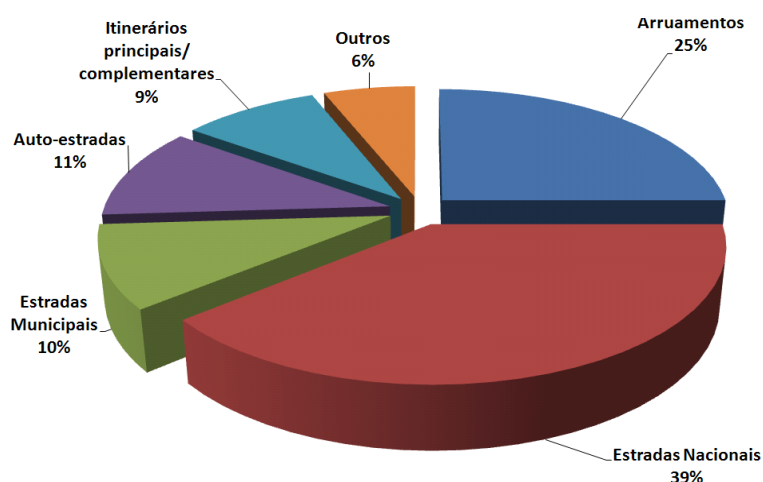


Figura 12: Distribuição do número de vítimas mortais por tipo de via [5]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

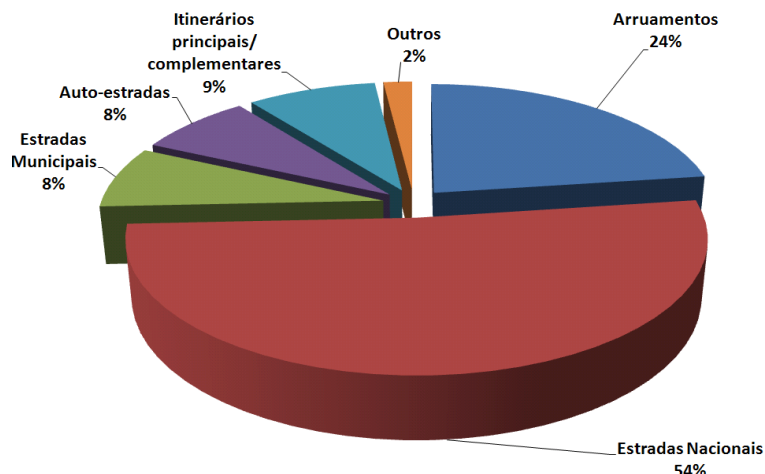


Figura 13: Distribuição do número de acidentes com vítimas por tipo de via [5]

Distribuição pelas características dos veículos envoltentes

Segundo a Figura 14, os Veículos ligeiros foram os que mais contribuíram em termos de acidentes rodoviários, com 80%, seguido dos Ciclomotores e dos Motociclos com 7% e 6%, respectivamente [5].

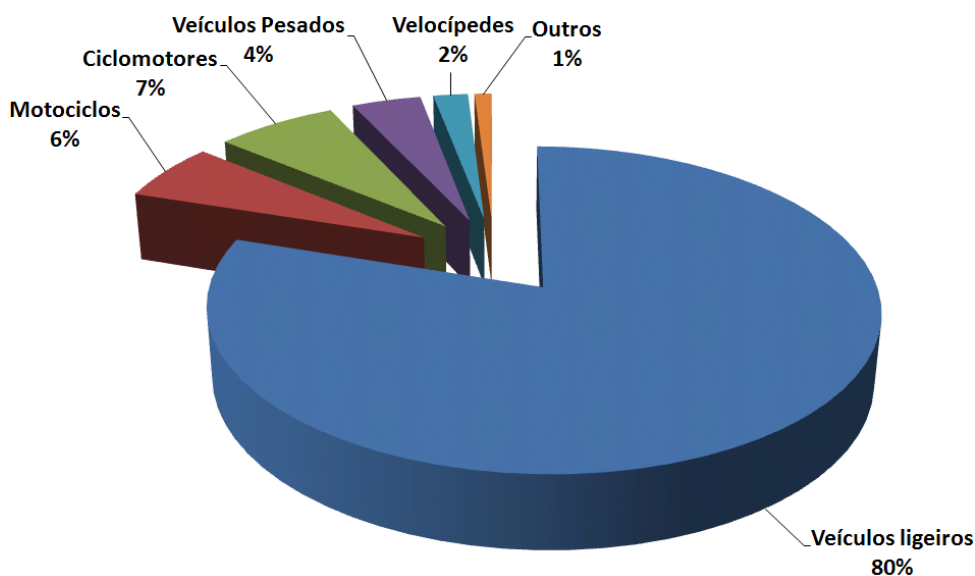


Figura 14: Veículos intervenientes nos acidentes [5]

Caracterização das vítimas

O número de vítimas, quer para motociclos, quer para veículos ligeiros, foi particularmente elevado para faixas etárias superiores a 60 anos e entre 20-24 anos (ver Figura 15) [5]. Os peões apresentaram uma incidência significativa para faixas etárias superiores a 60 anos.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

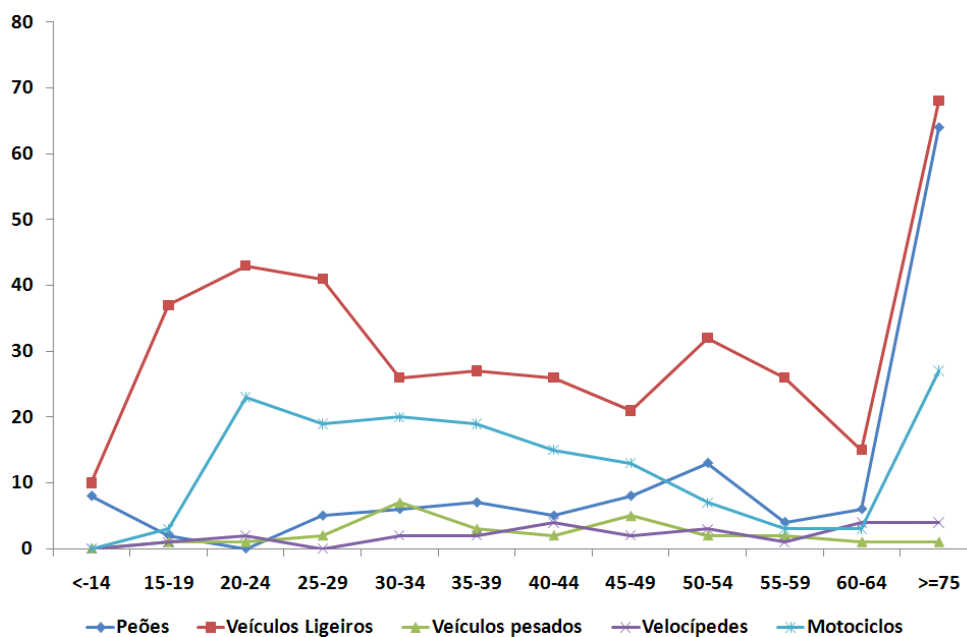


Figura 15: Distribuição etária das vítimas por modo de transporte [5]

Caracterização das vítimas mortais ao nível dos peões

Visualizando a Figura 16, observou-se que 35% dos peões que foram vítimas de acidentes se encontrava em plena faixa de rodagem no momento do acidente, seguido do seu atravessamento a mais de 50 metros da passadeira e a circulação nas bermas/passeiros com 14% e 13%, respectivamente [5].

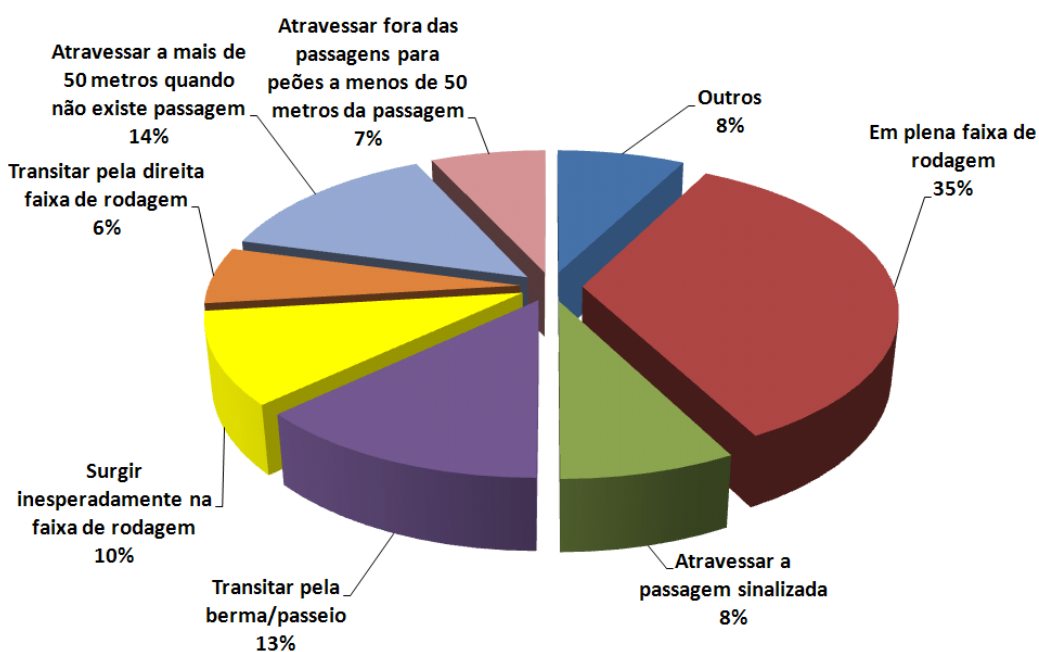


Figura 16: Peões vítimas mortais, segundo as suas acções [5]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Segundo a sua localização, 71% dos peões falecidos encontrava-se fora das localidades, enquanto a percentagem relativa aos feridos graves foi de 87% [5], conforme pode ser visualizado na Figura 17.

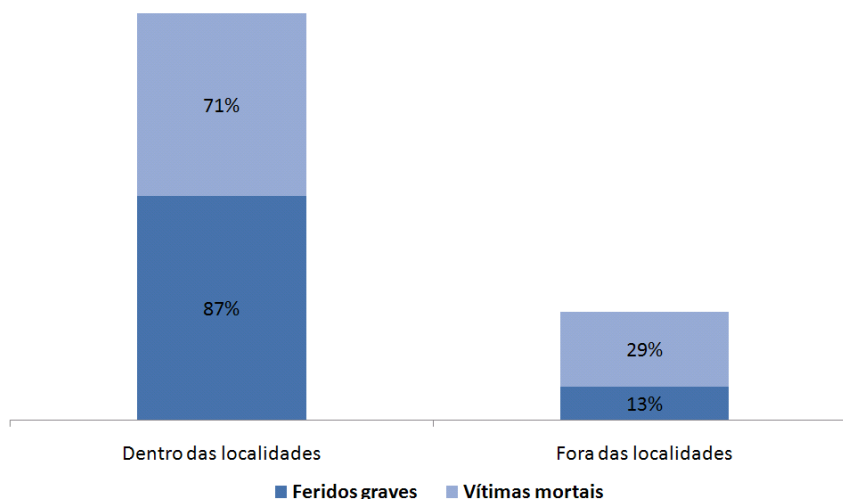


Figura 17: Peões vítimas mortais e feridos graves, segundo a localização [5]

1.3 Evolução na Investigação em Segurança Rodoviária

Em 1963, *Goldstein* [9] sugeriu que o êxito da investigação da segurança rodoviária em relação ao estudo de tráfego tinha dois requisitos básicos: o conhecimento mais aprofundado do local em estudo e as pertinentes técnicas de investigação. Como raramente as pessoas eram especialistas em mais do que uma área científica, este sugeriu a coordenação e cooperação como questões fundamentais em toda a segurança de tráfego relativamente à investigação desta última. No seu relatório, *Goldstein* identificou um número de problemas conceituais metodológicos, característicos da investigação da segurança rodoviária e que não se manifestavam a partir do simples estudo de uma área isolada. Estes incluíam:

- Como se classificam os eventos críticos de segurança, quando os acidentes nunca ocorrem pelo mesmo motivo, mas sim por uma coexistência de muitos factores?
- Como lidar com um dado problema da segurança rodoviária, quando os acidentes são muitos raros em relação à exposição de tráfego?
- Devemos ter o conhecimento da causa dos acidentes para poder preveni-los?
- Os acidentes podem ser evitados através da remoção de riscos conhecidos e redesenhar a infra-estrutura, sem saber a natureza exacta dos mesmos?
- Devemos ter o conhecimento da causa dos acidentes para poder preveni-los? [9]

Outro estudo elaborado por *Blumenthal* [10], descrevia uma abordagem definida como a “macroestrutura do problema da segurança no tráfego”. Nesta, a segurança era caracterizada como um problema com dimensões de cariz tecnológico, comportamental e sociológico, na

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

qual os acidentes eram vistos como resultado do desequilíbrio entre as capacidades do condutor e de um dado sistema rodoviário.

O mesmo autor reconheceu a utilidade de uma Teoria Geral dos Sistemas para abordar a segurança rodoviária de forma metodológica e científica. Esta teoria oferecia um meio de análise matemática e detalhada para identificação das propriedades e mecanismos que resultavam da inter-conectividade do sistema em diferentes níveis estruturais. Para tal, deveriam-se considerar todos os processos interactivos e dinâmicos do sistema de tráfego. Dados os principais conceitos desta teoria, um diagrama ilustrativo dos elementos fundamentais do sistema de tráfego foi sugerido, conforme apresentado na Figura 18.

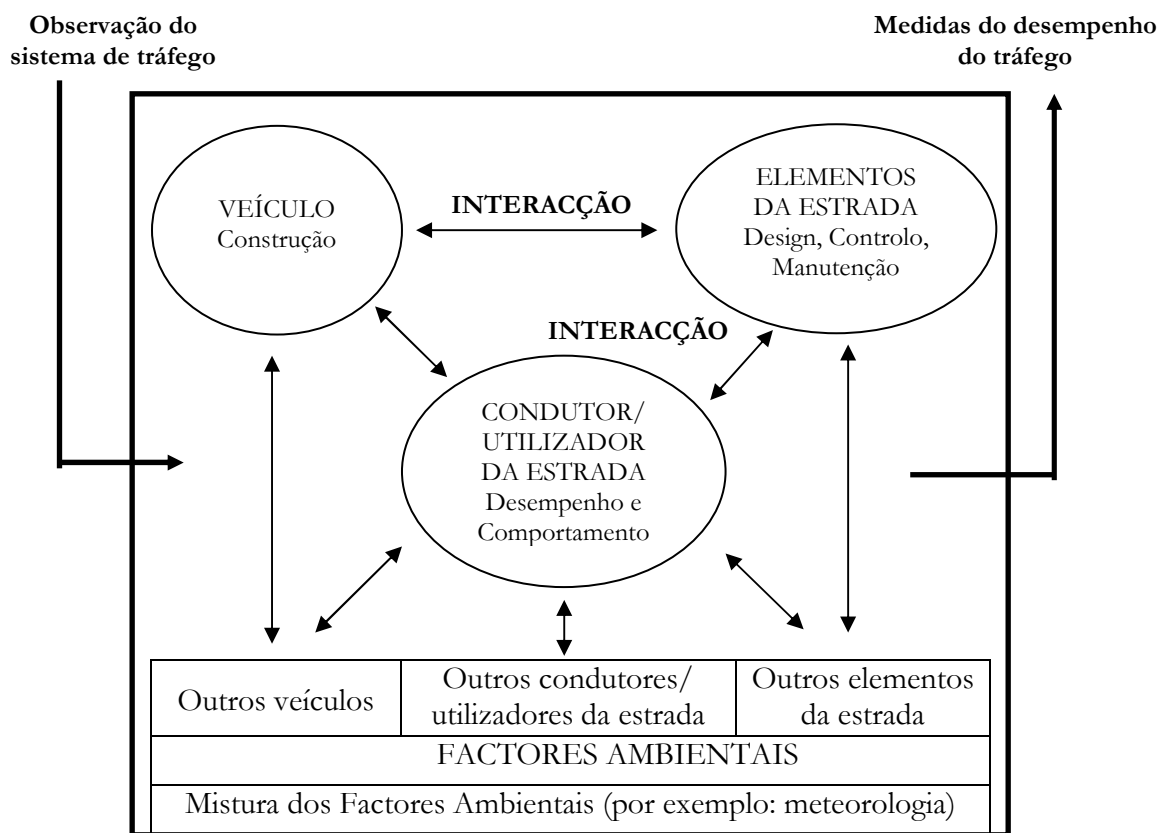


Figura 18: Modelo conceptual dos elementos chave para um sistema de tráfego [adaptado de 11]

Little considerava a segurança rodoviária e outras medidas de desempenho do sistema de tráfego, como uma propriedade emergente gerada por interacções inadequadas entre os componentes seus constituintes, e como o sistema transcendia de um estado para o outro ao longo do tempo [12].

Ao focar as interacções entre as entidades dos sistemas de tráfego, foi possível estabelecer uma abordagem para a investigação da segurança, facilitada pela construção de modelos e teorias conceptuais. Estes últimos, terão de funcionar como instrumentos científicos, de modo a facilitar a descoberta de novos conhecimentos para a geração de novas hipóteses que sejam investigadas e eventualmente aceites.

1.3.1 Medidas e análise da segurança rodoviária

A segurança rodoviária é geralmente medida em termos do número de acidentes de tráfego e as consequências dos mesmos em termos de gravidade. A abordagem do historial dos dados é interessante pois permite identificar os problemas específicos da segurança, quer a nível nacional, quer a nível regional. Todavia, esta abordagem apresenta desvantagens no que concerne à disponibilidade e qualidade dos dados sobre acidentes e o prazo exigido para validar estatisticamente o sucesso de diferentes medidas de segurança, resulta na maioria dos casos, em valores muito distintos sobre natureza dos acidentes. Adicionalmente, a ocorrência destes últimos é uma cadeia complexa e dinâmica de acontecimentos, o que torna difícil a realização de análises de segurança baseadas na simples contagem dos dados de acidentes [11].

Em alguns casos, existe uma necessidade de utilizar métodos mais rápidos, informativos e eficazes, a fim de executar uma análise mais qualificada e abrangente, e assim extrair medidas de segurança fiáveis a curto prazo, sem depender das estatísticas dos acidentes. Da mesma forma, as medidas de segurança alternativas podem fornecer uma base para a previsão de acidentes [11].

Os indicadores para a segurança rodoviária representam características de proximidade temporal e espacial, das interações entre veículos que resultam em “quase-acidentes”. A principal vantagem destes está relacionada com a eficácia dos seus recursos, uma vez que ocorrem com maior frequência do que os acidentes e requerem ainda, períodos relativamente curtos de observação. Os indicadores são úteis para análises comparativas e para medidas de reforço numa dada estrutura específica da via a fim de aumentar a segurança da mesma. As metodologias utilizadas para conectar os dados dos indicadores tornam os resultados sensíveis aos locais específicos, pois incluem variáveis específicas dos mesmos como sendo características geométricas, velocidades médias, volumes de tráfego, entre outros [11].

Apesar das vantagens inerentes à utilização destas medidas, houve questões fundamentais relacionadas com a sua validade. Consequentemente, o seu uso foi limitado em muitos países ao nível do planeamento e engenharia de tráfego [11].

1.3.2 Modelação da segurança rodoviária

Face à crescente complexidade dos problemas de tráfego, nomeadamente ao nível da segurança rodoviária, a OCDE [13] elaborou um relatório em que propôs formular o processo e testar modelos e teorias científicas de modo a otimizar e estabelecer prioridades em termos de investigação da segurança de tráfego. No mesmo estudo, são identificadas quatro abordagens de modelação:

- Modelos Descritivos: são os mais usados, baseando-se nos dados de acidentes de tráfego e exposição;
- Modelos de Previsão: são utilizados para prever mudanças nas variáveis explicativas, a fim de estimar os efeitos que resultam de medidas específicas em projectos que não foram concebidos;
- Modelos de Risco: o seu principal objectivo é identificar e quantificar os factores de risco que explicam e prevêm o comportamento do utilizador e fazer avaliações da segurança baseadas na relação risco-efeito. Neste campo, podem ser identificadas duas abordagens principais, uma que determina os mecanismos que agem sobre a ocorrência e gravidade dos acidentes baseando-se em factores de

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

risco e outra, que estima diferentes consequências que resultam do cálculo das pontuações de risco;

- Modelos de consequência de acidentes: o seu objectivo é reduzir as consequências dos acidentes, através da identificação dos factores principais e promover equipamentos de segurança nos veículos que possam influenciar o comportamento do condutor. As suas abordagens incluem estratégias de intervenção tais como a introdução de legislação e políticas relacionadas com o controlo de velocidade, álcool, drogas, promoção do uso do cinto de segurança, entre outras [13].

A simulação rodoviária é uma abordagem particular de modelação que se está a tornar cada vez mais popular para fins de análise de tráfego na área do planeamento dos transportes e também na engenharia de tráfego. Os modelos existentes destinam-se a representar o comportamento do sistema de tráfego em vários níveis de abstracção de modo a gerar uma descrição quantitativa do seu desempenho. A utilidade da simulação abrange várias áreas, como sendo a avaliação de alternativas, visualização, teste de novos projectos ou ainda, o controlo do tráfego. Uma área de particular interesse é a utilização da simulação para a análise da segurança rodoviária da qual é reconhecido grande potencial. Os modelos de simulação fornecem uma plataforma de teste controlada e flexível que permite ao utilizador experimentar soluções alternativas numa dada configuração geométrica para distintos parâmetros de tráfego, estimando assim, os efeitos que estas têm no desempenho da mesma e ainda, na segurança em particular. Actualmente, e apesar do desenvolvimento contínuo, esta área particular da simulação, requer ainda um grande esforço de investigação e desenvolvimento para que possa ser aceite como uma metodologia viável e totalmente disponível para as autoridades da área dos transportes [13].

1.4 Objectivos

O principal objectivo desta Dissertação de Mestrado consistiu em analisar a correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária, através da avaliação do risco de acidentes rodoviários, numa das rotundas mais movimentadas da cidade de Aveiro.

Para tal, foi aplicado o modelo de simulação rodoviário VISSIM, para a concepção da rede gráfica e a ferramenta SSAM, que se baseia nos dados das trajectórias resultantes de simulações efectuadas no primeiro modelo, e que identifica conflitos entre os veículos, que se definem como acções evasivas de modo a evitar a colisão. Para além disso, foram comparados os valores médios das medidas representativas calculadas em cada evento de conflito e que caracterizam a gravidade do mesmo: o tempo até à colisão (TTC) e o tempo de pós invasão (PET). Adicionalmente, foram usadas ainda três medidas que permitem caracterizar a gravidade da hipotética colisão: taxa inicial de desaceleração (DR), velocidade máxima dos veículos envolvidos ($MaxV$) e a diferença de velocidade máxima dos mesmos (ΔV).

Assim, foram seleccionadas três períodos do dia, correspondentes a um volume de tráfego baixo, médio e elevado e estabelecidos vários cenários que tivessem em consideração diferentes parâmetros que influenciam a segurança da configuração geométrica: limite de velocidade, agressividade do condutor e ainda, interacção entre peões e veículos. Face a isso, foi feita uma comparação dos mesmos através de medidas representativas para a segurança rodoviária e também localizados espacialmente os conflitos. Foi ainda avaliada a implementação de um projecto alternativo ao estudo de caso e comparados os seus resultados com este último, através da realização de testes de hipótese para a diferença de médias.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Pretendeu-se igualmente, validar os resultados do SSAM através da correlação estatística dos valores dos conflitos obtidos em ambos os projectos com a frequência de acidentes resultantes de modelos de previsão de acidentes para uma rotunda.

A introdução desta Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica vai de encontro ao estipulado no relatório da “*American Society for Mechanical Engineers*” (ASME) [14], no qual tem referido a importância do papel do Engenheiro Mecânico no desenvolvimento de soluções na área da energia, ambiente, transportes e segurança rodoviária.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação de Mestrado está organizada em 7 capítulos:

No Capítulo 1 é feita uma caracterização do fenómeno da sinistralidade rodoviária na Europa e em Portugal. Para além disso, foi feita uma descrição dos métodos para avaliação da segurança rodoviária e nesse âmbito, fez-se uma menção particular à micro-simulação. Finalmente, são descritos os objectivos desta tese, bem como o processo de simulação, os cenários implementados e as comparações que irão ser feitas.

No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre estudos já realizados sobre a aplicação da micro-simulação na avaliação da segurança rodoviária e os resultados auferidos.

No Capítulo 3 são analisadas as potencialidades e limitações de dois métodos usados para avaliar a segurança rodoviária: os modelos de previsão de acidentes e a técnica de análise de conflitos de tráfego. Nesta secção são ainda descritos os indicadores representativos da segurança rodoviária mais usados.

No Capítulo 4 são abordadas as potencialidades e limitações da micro-simulação no âmbito da segurança rodoviária e referenciadas algumas aplicações comerciais existentes. Na parte final desta secção, são descritas algumas ferramentas usadas especificamente para análise da segurança rodoviária.

No Capítulo 5 é descrita a metodologia utilizada neste estudo, com especial destaque para o processo de simulação do estudo de caso e ainda as condições dos cenários implementados.

No Capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados. Inicialmente são analisados os efeitos da velocidade limite, agressividade do condutor e interacção com peões, em termos das frequências de conflitos e os indicadores para a segurança rodoviária, nos três volumes de tráfego. Posteriormente, foram comparados os resultados com um projecto alternativo para o estudo de caso. No final desta secção, é feita uma correlação do número de conflitos de ambos os projectos com a frequência de acidentes resultantes de um modelo de previsão de acidentes.

No Capítulo 7 são retiradas todas as conclusões deste estudo e feitas sugestões sobre possíveis trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

Apesar do potencial da simulação nas várias formas de análise da segurança rodoviária [15], apenas recentemente têm sido verificados alguns estudos na literatura actual a referir a sua utilização nesta área.

O primeiro estudo conhecido em termos da metodologia de simulação e a sua estimativa em termos de segurança, foi realizado por *Sayed et al.* em 1994 [16], em que se analisaram os conflitos de tráfego como eventos críticos de uma dada situação específica e também, os efeitos causados por diferentes condutores na ocorrência destes primeiros.

O modelo de simulação VISSIM e o SSAM foram utilizados para estudar o efeito da redução do limite de velocidade no número total de conflitos em três cruzamentos da principal avenida de *Sungnam City* (Coreia do Sul) [17]. Um outro estudo usando os dois modelos anteriores, foi feito em 8 configurações distintas a uma dada via principal do estado do TEXAS [18]. O objectivo era identificar principais falhas nas mesmas e comparar a melhor alternativa em termos da segurança rodoviária. O VISSIM foi igualmente utilizado em três junções do tipo “T” em ambientes urbanos e suburbanos a fim de averiguar as possibilidades e limitações de uma abordagem de micro-simulação em termos do impacto da segurança rodoviária para diferentes indicadores de proximidade [11].

A FHWA testou os modelos de simulação de tráfego compatíveis com o SSAM [19,20], para diferentes configurações geométricas, modeladas de forma o mais idêntica possível em cada aplicação. Concluiu-se que todos os modelos estudados eram alternativas fiáveis em termos da modelação dos recursos necessários à obtenção das medidas representativas da segurança rodoviária.

Um protótipo que combinava o simulador VISSIM com o simulador de condução *DriveSafety* foi desenvolvido para especificar uma manobra de ultrapassagem [21]. O protótipo apresentou limitações ao nível da variedade de veículos devido à base de dados do VISSIM, o que impediu uma maior generalização das conclusões obtidas.

No âmbito do projecto SINDI, foi estudado o impacto de um sistema/serviços inteligente de transportes (ITS – “*Intelligent Transport Systems*”) em termos de segurança numa dada artéria urbana [22]. O objectivo do estudo foi desenvolver modelos comportamentais e propor novas alternativas usando indicadores de desempenho. Todavia, problemas resultantes do seu financiamento, não permitiram o desenvolvimento do estudo.

Recentemente, tem havido um aumento da utilização de sistemas avançados de assistência à condução (ADAS – “*Advanced Driver Assistance Systems*”) em que se insere o assistente inteligente à velocidade (ISA – “*Intelligent Speed Assistant*”) [23]. Este sistema tem sido desenvolvido em alguns países europeus e consiste num receptor GPS que determina a posição do veículo numa dada rede viária. Dado que o excesso de velocidade tem consequências em termos da sinistralidade rodoviária, foram feitos estudos em cidades Suecas usando o sistema ISA, em que resultaram reduções dos acidentes na ordem dos 40% [24]. Um outro estudo [25] envolvendo a ferramenta de simulação “*Traffic Performance on Major Arterials*” (TPMA), baseada nas primeiras versões do modelo HUTSIM, e ainda o sistema ISA, investigou os efeitos da segurança nos peões, inerentes à utilização deste segundo.

Na África do Sul foi estudado o modelo de simulação PARAMICS juntamente com três medidas ITS [26] em duas vias rápidas nas quais se inseriram, tendo em conta as

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

especificidades do país, os seguintes cenários: corredores destinados a autocarros e veículos de alta ocupação (HOV), homogeneização dos fluxos de tráfego através de limites de velocidade e ainda o uso de sinais de tráfego para o controlo da velocidade dos veículos em rampas de acesso a auto-estradas. Os resultados revelaram um potencial aumento da segurança rodoviária devido à implementação destas medidas.

Uma série de outros estudos podem ser encontrados na literatura e que utilizam a metodologia de micro-simulação baseada em modelos e a sua relação com a segurança rodoviária. Estes incluem: aplicação do sistema ISA em pequenos dispositivos de redes urbanas [27], efeitos da aplicação de um sistema de controlo automático da velocidade (ACC – “*Automatic Cruise Control*”) [28] na incidência de colisões de retaguarda ou ainda o efeito de um sistema anti-colisão em auto-estradas [29]. Os resultados obtidos foram bastante úteis no âmbito do veículo testado, porém, não foram tidos em conta aspectos como o comportamento do condutor e as suas interações com outros utilizadores da infra-estrutura de tráfego.

Assim, e muito embora os resultados obtidos terem sido positivos, existem poucos estudos relativos à aplicação da micro-simulação na segurança rodoviária, nomeadamente com os modelos utilizados na execução desta Dissertação.

3. Modelos de previsão de acidentes e técnicas de análise de conflitos de tráfego

3.1 Modelos de Previsão de Acidentes

A capacidade de prever o número de acidentes para uma instalação de tráfego num local (por exemplo numa rotunda) é útil em termos de análise de desempenho do mesmo. A utilização de modelos de previsão é uma ferramenta usada pelos Engenheiros de Tráfego nos quais se pretende avaliar os efeitos resultantes de algumas medidas que pretendam ser implementadas, por exemplo em termos do controlo de tráfego, crescimento do fluxo rodoviário ou ainda relativas à geometria da via [11,30].

As potencialidades dos modelos de previsão abrangem igualmente a área da segurança rodoviária onde se tem procurado estabelecer relações entre as diversas variáveis explicativas, para além do estabelecimento de relações causa-efeito entre os registos de acidentes e a segurança. Recentemente, têm sido desenvolvidos modelos “reactivos” traduzidos em índices de proximidade baseados na frequência de ocorrer um “quase-acidente” [11].

Uma vantagem dos modelos de previsão de acidentes é permitir conceber um modelo suficientemente robusto com um número mínimo de dados, porém a sua aplicação não é transferível a outros países ou tipologias de estradas, pois reflecte o comportamento dos condutores de uma dada região [17].

Nas seguintes acções são explicados dois tipos de modelos de previsão: estatísticos e baseados em “quase-acidentes”.

3.1.1 Modelos estatísticos e baseados em “quase-acidentes”

Os modelos de previsão estatísticos são usados para estabelecer relações entre os vários parâmetros de tráfego e o número de acidentes. Os modelos inicialmente desenvolvidos por *Maycock* e *Hall* [31] denominaram-se de modelos de regressão generalizados e foram utilizados para estudar acidentes rodoviários. Estes baseavam-se nas distribuições de Poisson que definiam as ocorrências dos acidentes como discretas, esporádicas e aleatórias em que a sua variação era devida a sucessivas modificações das medidas de tráfego, como sendo o seu volume, velocidade e também a geometria das intersecções [11]. *Arndt* e *Troutbeck* [32] desenvolveram modelos de regressão linear múltipla com variáveis independentes relacionados com o comportamento dos condutores e o desenho geométrico.

Outros modelos de regressão relativos à frequência de acidentes em termos de funções de tráfego e o fluxo de peões foram desenvolvidos pela *Transport Research Laboratory* (TRL) em cruzamentos de três e quatro ramos de várias estradas urbanas do Reino Unido [33,34]. Mais recentemente, *Turner* [35] desenvolveu dois modelos de previsão de acidentes para veículos motorizados em distintos cruzamentos sinalizados. O primeiro procurava relacionar tipos de acidentes específicos para os movimentos de viragem do condutor e outro, o número total de acidentes num cruzamento baseado no produto dos volumes de tráfego de duas vias que se interceptam. Em 2009, *Turner et al.* [36] desenvolveram modelos de previsão de acidentes em 104 rotundas de 3,4 e 5 ramos com uma e duas vias de circulação. A nível europeu [37], foram analisados os níveis de segurança em algumas estradas da Alemanha, Noruega, Áustria, Portugal e Holanda.

Kulmala e *Mather et al.* [38,39] propuseram uma fórmula para um modelo de previsão de acidentes, traduzida na equação 3.1:

$$E = C_1 Q_1^{C_2} Q_2^{C_3} e^{\sum C_4 C_5} \quad (3.1)$$

O número estimado de acidentes E , é função do volume de tráfego na via principal Q_1 , via secundária Q_2 , e as constantes C_1 , C_2 e C_3 , que são específicas do tipo de intersecção, velocidade máxima permitida e a localização, respectivamente. A constante C_4 representa alguma variável adicional enquanto que C_5 , diz respeito a um dado parâmetro específico do modelo.

A disponibilidade dos dados é normalmente a variável explicativa mais frequente, desde que inclua factos relevantes que tenham influência no número de acidentes, medições válidas e também nenhuma correlação com outras variáveis explicativas.

A relação entre as diversas variáveis dos modelos tem sido focalizada no estudo de tráfegos heterogêneos (mistura entre os modos motorizado e não motorizado) que têm grande influência na segurança rodoviária, sendo característicos dos centros urbanos de países com baixos padrões de desenvolvimento [40]. No mesmo espaço podem existir motorizados de três rodas, camiões ou ainda, carroças puxadas por animais. Portanto, a forma de como o tráfego se desenvolve é aleatória e teorias usadas ao nível do comportamento dos veículos não são facilmente aplicáveis [11].

Os modelos de previsão baseados no registo de acidentes são actualmente, os mais utilizados por parte dos Engenheiros de Tráfego. Todavia, existem acidentes que ocorrem antes de se efectuar a identificação dos problemas e a consequente implementação de medidas correctivas. Uma abordagem complementar aos modelos de previsão é medir a frequência da ocorrência de um “quase-acidente” usando indicadores de proximidade da segurança que rodoviária que tenham uma relação estável com os acidentes [11].

Sayed e Zein [41] utilizaram técnicas de conflito de tráfego combinando o risco de colisão e o tempo mínimo até à colisão, em cruzamentos sinalizados e não sinalizados num total de 94 pontos de conflito. O objectivo era estabelecer a frequência de conflitos e graus de gravidade na forma de um índice de conflito usado posteriormente para comparar diferentes níveis de risco em cruzamento. *Salman e Al-Maita* [42] investigaram a relação entre os conflitos de tráfego e duas medidas características dos mesmos. Apesar de terem sido verificadas correlações, não foram estabelecidas relações entre os tipos de conflitos e a caracterização do volume de tráfego.

3.2 Técnica de análise de conflitos de tráfego

O conceito de conflito de tráfego foi introduzido por *Perkins e Harris* em 1968, como sendo qualquer acção evasiva por parte do condutor de modo a evitar a colisão [43]. O seu objectivo era definir eventos de tráfego ou incidentes que ocorriam com alguma frequência, facilmente observados e relacionados com as colisões. Assim, a TRL reconheceu a necessidade de adicionar uma escala subjectiva como medida de gravidade dos conflitos. Porém, esta revelou-se inadequada, cara e morosa, pois baseava-se nos juízos de valor de um observador usando filmagens. O conceito foi melhorado através da introdução do tempo como medida de conflito de tráfego [11,17].

Durante a década de 70, a *Swedish Traffic Conflict Technique* (STCT) definiu uma medida denominada de tempo até ao acidente (TA – “*Time to Accident*”) que se baseava numa estimativa subjectiva da velocidade e distância num dado ponto de conflito. Muitos

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

investigadores, nomeadamente em países escandinavos, assumiram que todas as intersecções podem ser classificadas numa hierarquia de segurança [44], segundo a Figura 19.

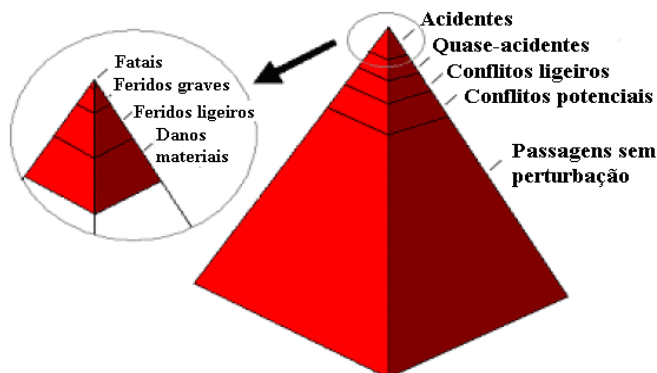


Figura 19: Pirâmide de *Hyden* para segurança rodoviária [adaptado de 11]

As interacções definem-se como situações observadas em que dois ou mais condutores estão o suficientemente perto no espaço e no tempo. As interacções próximas das colisões na hierarquia de segurança são definidas como “quase-colisões”. Uma interacção pode ser classificada segundo a mesma hierarquia da Figura 19, todavia, para este conceito ser válido, os dados devem ser transferidos em parâmetros mensuráveis.

Quando dois ou mais veículos abordam o mesmo ponto no tempo e espaço, um ou ambos podem tomar acções evasivas como travar, acelerar ou desviar-se a fim de evitar a colisão iminente. Consequentemente, podem verificar-se duas situações: se o desvio foi bem sucedido, ocorre um conflito de tráfego; se a acção evasiva não é tomada ou é concluída sem êxito, ocorre a colisão [11,45].

A gravidade e a natureza dos conflitos de tráfego são interessantes ao nível do diagnóstico do controlo do mesmo em cruzamentos cuja concepção geométrica não é a melhor. Além disso, estes fornecem informações complementares aos dados de colisão para estudos de segurança rodoviária, uma vez que os observadores foram treinados no local, de modo a identificar as situações passíveis de ocorrerem acidentes [11,45].

Uma limitação na realização da análise de conflitos de tráfego está relacionada com a impossibilidade em comparar os conflitos e as colisões, pois estes primeiros resultam de registos de acções evasivas por parte dos condutores, que não servem como medidas substitutas destas últimas. Outro problema verificado diz respeito à técnica usada para estudar os cruzamentos. Actualmente, não existem métodos eficazes de observação e quantificação dos conflitos de tráfego num local específico da instalação, pois a selecção de determinados pontos é ainda impraticável e inviável economicamente. Para além disso, o processo é dispendioso visto ser um trabalho de campo que exige muitas horas de estudo aos observadores que executam as medições [11,45].

3.2.1 Tipos de conflitos de tráfego

Os eventos de conflito em cruzamentos e rotundas podem ocorrer num único local no tempo ou espaço (ponto de conflito) ou durante uma série de vezes em vários locais (linhas de

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

conflito). Um ponto de conflito é um local onde os percursos de dois veículos automóveis, um veículo e ciclista e ainda, um veículo e peão, se podem cruzar, divergir ou convergir. Os conflitos são divididos em três categorias básicas, em que o grau de gravidade das mesmas é distinto conforme explicado nos seguintes pontos:

- Conflitos em filas (“*Queuing conflicts*”): são causados por um veículo que circula na retaguarda de outro. Estes podem ser do tipo de retaguarda (“*Rear-end*”) ou de mudança de via (“*Lane change*”). No primeiro caso, o veículo da frente efectua uma manobra repentina e obriga o veículo precedente a desacelerar de modo a evitar uma colisão, enquanto que no segundo, essa manobra leva o veículo precedente a efectuar uma mudança de via. Normalmente, estes conflitos são os menos graves pois as colisões envolvem as partes mais protegidas dos veículos e a diferença relativa de velocidade dos mesmos é pequena;
- Conflitos convergentes e divergentes (“*Merging and diverging conflicts*”): são causados pela união ou separação de dois fluxos de tráfego. Os conflitos convergentes podem ser mais graves do que os divergentes, devido à possibilidade de ocorrerem colisões entre as laterais dos veículos, que normalmente são menos protegidas do que as partes dianteiras e traseiras dos mesmos;
- Conflitos de passagem (“*Crossing conflicts*”): são causados pela intersecção entre dois corredores de tráfego, sendo os conflitos mais graves, susceptíveis de implicar acidentes com vítimas. A sua definição como pontos de conflito deve-se ao pequeno ângulo de viragem em relação à via para a qual o veículo se dirige [20,46].

A ilustração dos conflitos anteriores pode ser visualizada na Figura 20 para um cruzamento em forma de “T” e uma rotunda de três ramos.

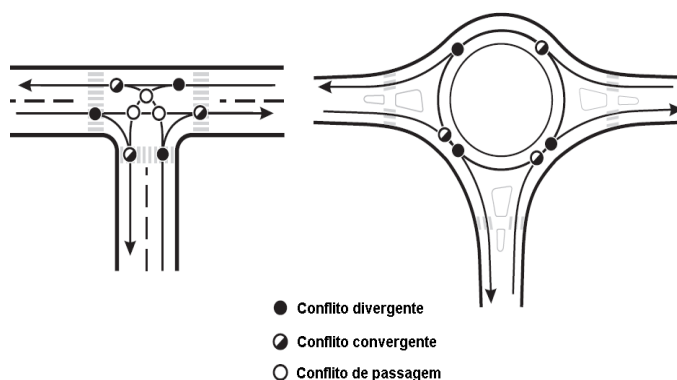


Figura 20: Tipos de conflito para uma intersecção em forma de “T” e uma rotunda de três ramos [adaptado de 46]

Existem ainda os conflitos que são devido às interações entre os peões e os veículos. Uma situação representativa dos mesmos é quando um peão atravessa a estrada e um veículo aproxima-se, sendo muito comum em cruzamentos pouco sinalizados com fluxos elevados de pessoas ou ainda, em cruzamentos sinalizados com elevado volume de tráfego [46]. A Figura 21 ilustra a localização dos conflitos envolvendo peões numa rotunda de quatro ramos.

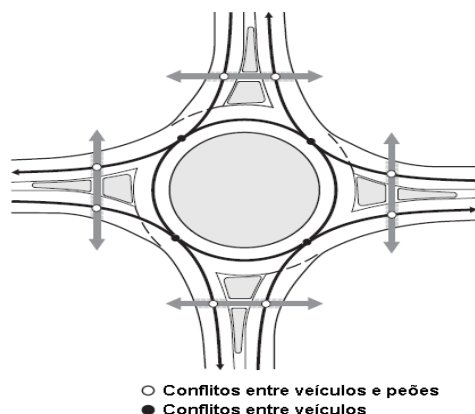


Figura 21: Localizações dos conflitos entre peões e veículos numa rotunda [adaptado de 46]

Finalmente, os conflitos podem resultar da interacção entre veículos e ciclistas. Uma situação frequente deste tipo de conflitos é nos cruzamentos com vários ramos, em que os ciclistas circulam do lado direito da via e o seu percurso cruza-se com o caminho efectuado pelos veículos motorizados (ver Figura 22). No caso das rotundas, os ciclistas podem circular na via ou nos passeios (ver Figura 23), sendo que os conflitos resultantes dependem da forma de como estes a abordam [46].

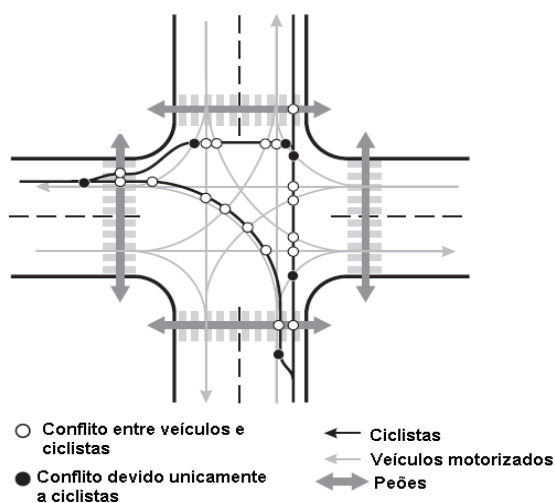


Figura 22: Conflitos envolvendo ciclistas num cruzamento de quatro ramos [adaptado de 46]

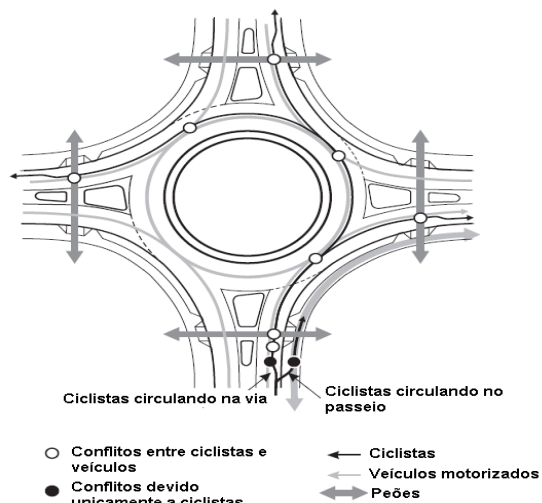


Figura 23: Conflitos envolvendo ciclistas numa rotunda [adaptado de 46]

3.2.2 Risco de colisão (ROC)

A gravidade dos conflitos de tráfego para um determinado local pode ser feita através de métodos subjectivos e objectivos. Os primeiros baseiam-se na análise crítica de um determinado observador enquanto os objectivos, incluem uma dimensão tempo-proximidade ordinal ou cardinal.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

A maior parte dos modelos para a segurança rodoviária tem em consideração o registo de dados de acidentes, ou seja, uma base estatística, o que nem sempre é melhor opção, visto que são omissos em termos das características da estrada ou mesmo outro tipo de informações que nem sempre estão contidas no registo de acidentes. Para além disso, o número de acidentes relatados é sempre inferior ao número real, pois as autoridades nem sempre podem assistir a todos os locais e frequentemente, alguns dos acidentes não são notificados.

O risco de colisão (ROC – “*Risk of Collision*”) é um índice subjectivo usado para avaliar a segurança rodoviária que não depende da deterioração dos dados provenientes dos registos de acidentes e que têm em consideração factores subjectivos que não são extraídos a partir das estatísticas dos mesmos [47]. Este tipo de análise necessita de cumprir uma série de requisitos que o tornem fiável e independente do projecto analisado. Refira-se que os resultados produzidos devem ser independentes do observador e comparados com índices objectivos de modo a torna-lo válido.

O desenvolvimento do ROC implica a existência de elementos fundamentais que descrevam a segurança de forma quantificável. Muitos engenheiros na área dos transportes isolam três elementos para descrever o risco de segurança [47]:

$$\text{Risco} = f(\text{exposição, probabilidade e consequência})$$

O primeiro elemento quantifica a exposição dos utentes face a potenciais perigos na estrada, enquanto o segundo mede a probabilidade de um veículo ser envolvido numa colisão. Finalmente, a consequência avalia o nível de gravidade que resulta de uma dada colisão [47].

A formulação da metodologia para o risco de colisão segue três passos. O primeiro, consiste em determinar os factores considerados para o processo, sendo que é importante separar o trajecto em termos de tipologia do mesmo (urbano, rural ou auto-estrada), visto que cada um requer uma capacidade de avaliação e recolha de dados distinta [47].

No segundo passo são criadas as linhas de orientação para avaliar a segurança rodoviária, pois cada factor de risco existente em cada meio tem de ser analisado de modo a atribuir uma pontuação ao local. A exposição é analisada com base no volume de tráfego nos pontos de risco potencial. Num ambiente rural, o tráfego da estrada principal é suficiente para quantificar o nível de exposição, exceptuando nos cruzamentos com elevado volume de tráfego onde as estradas secundárias são relevantes para o mesmo. No ambiente urbano, o fluxo das estradas principais e secundárias contribuem sempre para a exposição ao risco. No que concerne à probabilidade, esta é avaliada separadamente por cada elemento da estrada. Finalmente, a consequência é influenciada pela velocidade do veículo [47].

O último passo consiste nos procedimentos necessários para a obtenção do risco de colisão. Para tal, algumas questões relacionadas com a quantificação do mesmo são propostas, ou como é feita a avaliação e ainda, a importância relativa de algumas características em detrimento de outras [47].

A validação do ROC está referenciada em alguns estudos [41,47], cujos resultados revelaram boas correlações com os modelos de acidentes, no entanto este indicador apresenta limitações, nomeadamente, ao não incluir o comportamento do condutor na sua metodologia.

3.2.3 Tempo até à colisão (TTC)

A medida objectiva mais utilizada para analisar a gravidade de um dado conflito é o tempo até à colisão (TTC – “*Time to Collision*”). Este é definido como o intervalo de tempo que um objecto demoraria a atingir um observador (ou outro objecto) se circulasse à mesma velocidade. Um TTC menor indica uma maior probabilidade de colisão e também uma gravidade do conflito mais significativa [48].

A sua definição original foi feita em 1972 [48], embora anteriormente tenham sido feitas algumas pesquisas a referir que o valor do mesmo se tornava finito e diminuía, a partir do momento em que dois veículos se encontravam em rota de colisão. Em estudos de segurança que se baseiam no uso do TTC, deve ser determinado um limiar adequado para o mesmo de modo a distinguir quais os conflitos mais críticos numa dada configuração geométrica. O limite é representado através de um valor e não por uma função que depende de medidas como a velocidade e a desaceleração [11].

A gravidade de um evento de TTC é implicitamente representada pelo tempo que provém de medidas como a velocidade e a distância. Isto implica que todos os valores mínimos de TTC têm o mesmo nível de gravidade, independentemente da velocidade a que circulam os veículos [11].

O uso do TTC tem sido negligenciado devido a problemas relativos à extracção dos dados. Na maioria das vezes, isso implica análises fotométricas de vídeo que são exigentes em termos de recursos e também bastante morosas. Adicionalmente, a utilização destes métodos limitam a qualidade do estudo da segurança rodoviária, pois os eventos críticos são difíceis de detectar em imagens bidimensionais e sujeitos a problemas de posicionamento de câmara de modo a cobrir toda a área que se pretende analisar. Adicionalmente, o TTC não é conclusivo em termos da gravidade da colisão [11].

Alguns estudos do TTC foram feitos de modo a identificar os seus impactos na segurança [49,50]. Hyden estabeleceu um valor limite do curso da colisão de 1,5 segundos [51].

Nas Figuras 24 e 25 são ilustrados o cálculo do TTC para uma situação de conflito típica. Os números mostram o valor deste em duas ocasiões distintas, porém deve ser referido que este cálculo é feito continuamente para intervalos temporais regulares durante o curso de um evento de segurança crítico a fim de determinar o valor mínimo de TTC.



Figura 24: Cálculo do tempo até à colisão para o instante de tempo inicial [adaptado de 11]

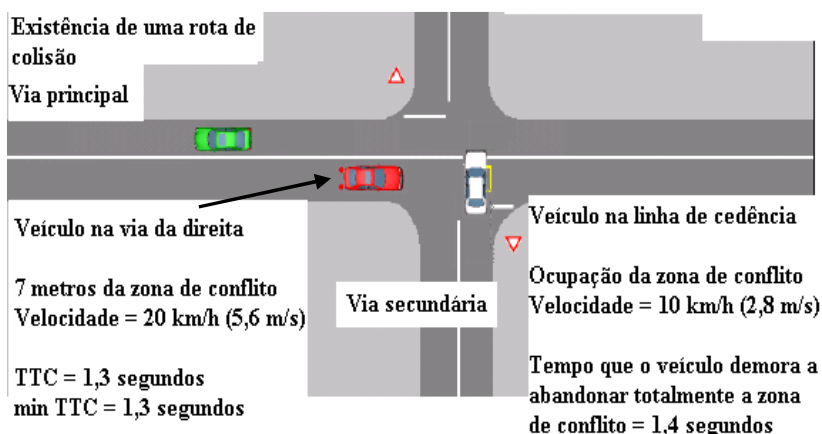


Figura 25: Cálculo do tempo até à colisão para o instante de tempo final [adaptado de 11]

3.2.4 Extensão do tempo até à colisão (TET, TIT)

Novos estudos sobre a importância do TTC foram sugeridos por *Minderhood* e *Bovy* [52]. Estes autores sugeriam dois novos indicadores baseados nas trajetórias dos veículos ao longo de um determinado segmento e que eram úteis em termos de análises comparativas para a segurança rodoviária. O primeiro definiu-se como o tempo de exposição (TET – “*Time Exposed TTC*”), medindo o tempo que todos os veículos envolvidos no conflito gastam num determinado intervalo temporal, até atingir o valor limite de TTC. O segundo indicador denominou-se de tempo integrado (TIT – “*Time Integrated TTC*”), correspondendo ao integral da área em que o TTC permanece abaixo do valor limite, durante a trajetória do veículo. Ambas as medidas são ilustradas na Figura 26.

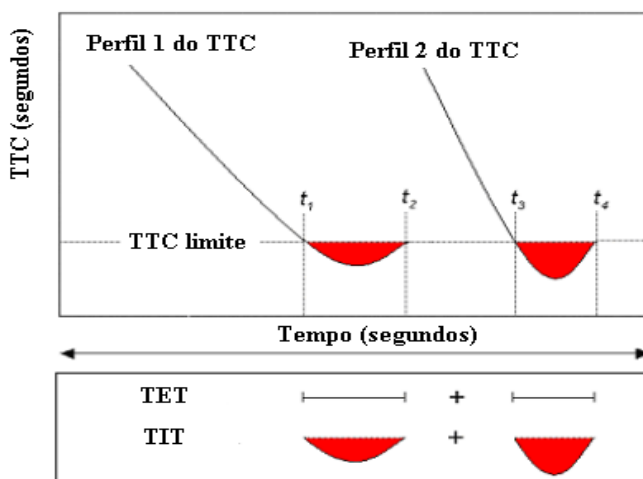


Figura 26: Definição em termos gráficos, do tempo de exposição e tempo integrado do TTC [adaptado de 11]

3.2.5 Tempo até às passadeiras (TTZ)

Uma variação do conceito do TTC foi desenvolvida para estimar a segurança de tráfego relativa à circulação dos peões nas passadeiras. O tempo até às passadeiras (TTZ –

“*Time to Zebra*”) foi usado num estudo [53] para avaliar a frequência e a gravidade das interações entre os veículos quando se aproximam de uma passagem destinada aos peões. Os resultados revelaram que os condutores nem sempre adoptavam a sua velocidade perante a aproximação das mesmas, expondo os peões a um potencial risco.

3.2.6 Tempo de pós invasão (PET)

O tempo de pós invasão (PET – “*Post-Encroachment Time*”) é usado para medir as situações em que dois veículos não estão numa rota de colisão evidente e que passam num determinado ponto ou área, com uma diferença temporal que está abaixo de um valor limite de 5 segundos [51]. Um PET menor indica maiores probabilidades de colisão e tem associados conflitos mais graves.

Uma questão relacionada com o conceito de PET diz respeito à sua validade e também se os eventos de PET são representativos de processos que possam prever acidentes. A diferença entre o PET e o TTC é a ausência do critério de colisão, para além de que o primeiro indicador é mais fácil de extrair, pois não necessita dos dados da velocidade relativa e da distância e também, de sucessivas actualizações do seu valor durante o evento de segurança crítico.

Todavia, apresenta uma série de inconvenientes tais como a medição da gravidade. A ausência de medição da velocidade e a distância para a determinação do seu valor, conclui que não existe a possibilidade de comparar com precisão, a gravidade dos eventos PET [11].

Um exemplo de cálculo do PET pode ser visualizado na Figura 27 em que dois veículos que não estão em rota de colisão, acedem a uma dada zona de conflito.

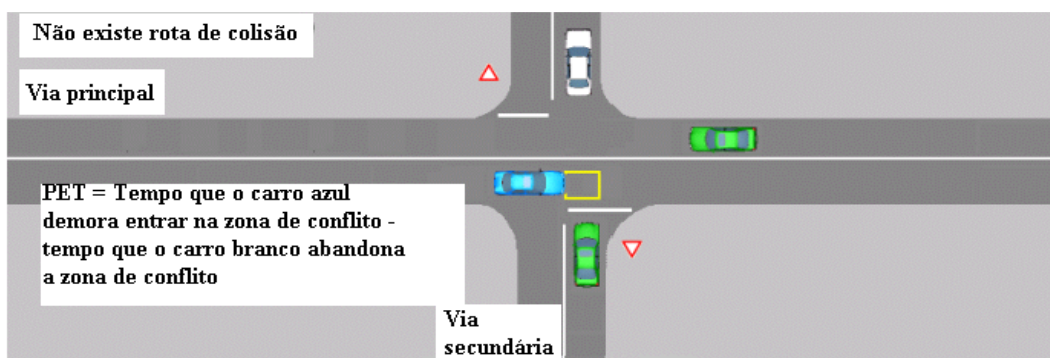


Figura 27: Exemplo para o cálculo do tempo de pós invasão [adaptado de 11]

3.2.7 Outros indicadores para a segurança rodoviária

A taxa de desaceleração inicial (DR – “*Deceleration Rate*”) mede a variação da desaceleração que o veículo deve ter, de modo a evitar uma dada colisão [11]. Segundo Hyden, o valor de DR é importante em termos da determinação da gravidade da hipotética colisão que resulta de um dado conflito [49]. À semelhança das medidas sugeridas para o TTC [53] é possível medir teoricamente o tempo gasto numa desaceleração para um dado TET e TTT. Todavia, a medição da DR real é difícil e exige muitos recursos [11].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

A velocidade máxima dos dois veículos envolvidos no conflito [MaxV] e a diferença de velocidades máximas dos mesmos [ΔV] são indicadores que se utilizam para averiguar a gravidade da colisão potencial. Ao utilizar as massas dos veículos, os valores de MaxV e ΔV podem ser usados para calcular os valores do impulso e obter uma melhor estimativa da gravidade de uma hipotética colisão [19,20].

A introdução destas variáveis no âmbito da segurança rodoviária permite fazer a distinção entre a gravidade de conflito e a gravidade da colisão. Um local com muitos conflitos com alguma gravidade tem baixos valores de TTC e PET. Porém, se a gravidade das potenciais colisões não é significativa, os valores MaxV, ΔV e DR são baixos, sendo que não tem grande interesse em termos de aplicações para a segurança rodoviária. Em oposição a estes, existem alguns locais com poucos eventos de conflito com elevada gravidade das colisões potenciais a que correspondem maiores valores de MaxV, ΔV e DR e são do maior interesse para os Engenheiros de Tráfego, sendo áreas de estudo prioritárias [19,20].

Existem ainda outros indicadores que foram propostos, mas que carecem de estudos e investigação científica a fim de poderem ser correlacionados com a frequência de acidentes ou os níveis de gravidade das colisões. A lista de alguns indicadores alternativos inclui a proporção da distância de paragem (PSD – “*Proportion to Stopping Distance*”), que representa o rácio da distância avaliada para efectuar uma manobra de paragem face ao ponto de conflito projectado ou ainda a desaceleração até um tempo de segurança (DST – “*Deceleration-to-Safety Time*”), que se define como a aceleração necessária até um valor de PET maior que zero segundos [11].

3.2.8 Factores que influenciam a segurança rodoviária

Existem outros parâmetros e processos que são conhecidos por terem uma influência directa em termos de medição da segurança rodoviária através de indicadores de proximidade. Estes factores não a quantificam directamente, sendo que muitos são considerados medidas de desempenho e eficiência do tráfego, porém, denotam relações com a frequência de acidentes e a gravidade dos mesmos. Os factores que influenciam a segurança incluem, entre outros:

- Velocidade e variação da velocidade;
- Controlo do tempo mínimo para executar uma dada acção;
- Frequência das violações ao sinal vermelho do semáforo;
- Taxas de densidade do tráfego (incluindo medidas como sendo a saturação, densidade, entre outras);
- Frequências relativas de manobras de viragem ou o número de veículos em simultâneo em zonas de conflitos e cruzamentos;
- Aspectos relacionados com o design da via ou controlo do tráfego [11].

4. Modelos de micro-simulação

4.1 Introdução

A simulação computacional é uma metodologia de investigação científica e experimental, suportada na grande capacidade de processamento dos computadores. A sua utilização estende-se em diversas áreas da investigação, sendo considerada em muitas delas, uma ferramenta imprescindível. É geralmente usada na fase de desenho de projectos pelo que permite, com base num modelo de simulação, uma fácil previsão do desempenho e a comparação entre diversos modelos, facilitando assim o estudo e reduzindo os custos associados [54,55]. O uso dos modelos de simulação rodoviária no âmbito das operações de tráfego e na avaliação do impacto do sistema que o concebe tem verificado uma utilização cada vez maior. Isto deve-se ao seu maior detalhe e flexibilidade, pelo que permite uma utilização mais simples e intuitiva por parte dos utilizadores [56].

Este tipo de modelos oferece algumas vantagens em relação às técnicas tradicionais de análise de tráfego, como sendo a maior clareza em termos de ilustrações da rede viária em tempo real, precisão da modelação para diferentes modos e fluxos de transporte ou ainda, a flexibilidade através da avaliação e resolução de uma gama elevada de problemas relacionados com as instalações dos peões, incidentes na estrada, rotundas, entre outros. Adicionalmente, muitas das simulações desenvolvidas têm em consideração a natureza estocástica das situações de tráfego, isto é, a geração do mesmo é feita de forma aleatória. A maioria das ferramentas de simulação de tráfego foi desenvolvida especificamente para estudar e analisar o desempenho e capacidade de uma dada instalação. A crescente sinergia entre a tecnologia e a engenharia, permitiu uma nova geração de modelos e a aplicação da micro-simulação estendeu-se na área da segurança rodoviária e do impacto ambiental. Algumas aplicações dos modelos incluem novas ferramentas que permitem calcular as emissões e consumos dos veículos e o seu impacto na poluição ambiental [11,56].

É muito importante em termos de análise da segurança rodoviária que a representação do comportamento interactivo entre diferentes utilizadores (por exemplo, o tempo que o condutor demora a tomar uma decisão) e o ambiente (por exemplo, a rapidez em que uma dada curva é executada) seja a mais precisa possível. A maior vantagem associada à micro-simulação é a possibilidade de adoptar a um modelo, critérios específicos de uma dada situação de tráfego do mundo real e incorporar factores que foram previamente identificados e que têm influência, quer directa, quer indirectamente, na segurança rodoviária [11]. Outras potencialidades reconhecidas aos modelos de micro-simulação são:

- A disposição exacta da geometria do local;
- Representação precisa dos sinais de controlo de tráfego;
- Interação entre os veículos motorizados e não motorizados e outras categorias de utentes da estrada, incluindo peões e ciclistas;
- Representação precisa dos fluxos de tráfego em termos de definição dos percursos e também, a composição do mesmo ao longo de uma dada via ou interligação de várias vias;

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

- Níveis de precisão da velocidade e variações da mesma ao longo do tempo para diferentes situações (por exemplo, a presença de um sinal limitador de velocidade e a consequente redução de velocidade por parte do condutor);
- Diferenças nas características do veículo, mesmo sendo do mesmo tipo e classe;
- Diferenças no comportamento e desempenho do condutor em diferentes tipos de estradas;
- Representação de características específicas do sistema rodoviário (por exemplo, corredores para transportes públicos, limite de velocidade para veículos pesados de mercadorias, entre outros) [11,54].

Apesar do desenvolvimento que tem sido feito em termos da melhoria da própria modelação, existem ainda alguns problemas associadas ao seu processo:

- Flexibilização na especificação do comportamento do condutor nas diferentes situações de tráfego;
- Modelação dos pára-arranca dos veículos;
- Modelação de peões e ciclistas;
- Atribuição de um tráfego mais dinâmico;
- Leque mais abrangente dos poluentes emitidos pelos veículos;
- Selecção do melhor percurso na sequência de um incidente na via;
- Previsão com precisão significativa de atrasos, tempos de fila, tempos de viagem, consumo de combustível e emissões de alguns poluentes [11,54].

No que concerne ao comportamento dos veículos, existem três algoritmos que são parte integrante em quase todas as micro-simulações e que têm sido debatidos ao longo dos últimos 30 anos. Estes designam-se por mudança de via – “*Lane Changing*”, tempo de aceitação – “*Gap Acceptance*” e seguimento do carro – “*Car Following*”, e são descritos nos seguintes pontos:

- Mudança de via – determina a forma de como os veículos entram e saem de um dado fluxo de trânsito e ainda, dentro da faixa de rodagem efectuam a mudança de via. Existem três tipos de mudança distintos: arbitrários, que reflectem os estilos de condução; obrigatórios, no caso de uma supressão de uma dada via de circulação; posicionamento, referente a manobras de ultrapassagem;
- Tempo de aceitação – controlo do tempo mínimo que o veículo demora a fazer a entrada numa dada via ou executar uma acção, por exemplo, arrancar após o sinal vermelho do semáforo. Este tempo pretende aproximar o comportamento do veículo à realidade, uma vez que em situações normais, o condutor gasta sempre algum tempo a avaliar a situação e a consequente tomada de decisão de modo a não provocar um acidente. Um exemplo típico deste tipo de comportamento é

quando o condutor quer mudar de via de circulação ou arrancar de uma dada fila de trânsito;

- Seguimento do carro – determina o comportamento do veículo numa determinada fila, nomeadamente em termos de manutenção das distâncias de segurança. Cada veículo, dependendo do seu tipo de condução, tem uma margem de segurança quando efectua uma travagem, que durante o percurso se traduz na conservação de uma distância pré-definida, em relação ao veículo seguinte [56].

4.2 Modelos de simulação de tráfego

Actualmente, existe um grande número de softwares de micro-simulação que são relatados na literatura e referenciados na rede. Muitas aplicações comerciais fornecem suportes regulares e actualizações funcionais como resultado de contínuas pesquisas e trabalhos de desenvolvimento que é um requisito necessário para o sucesso e continuidade dos mesmos. As ferramentas de micro-simulação típicas são: AIMSUN, CORSIM, PARAMICS, TEXAS e VISSIM [11].

Em termos Europeus, as aplicações comerciais PARAMICS e VISSIM são as mais comumente usadas. Alguns estudos indicam que o PARAMICS é mais adequado para grandes redes viárias e auto-estradas enquanto que o VISSIM se adapta melhor às condições de condução urbana [20,57].

Adicionalmente, existem outros softwares num âmbito académico que são utilizados em diferentes regiões e redes de investigação, mas que em muitos casos não têm grande aplicação devido a diversos factores tais como a falta de financiamento, documentação adequada ou actualizações regulares. Exemplos destes pacotes incluem o HUTSIM, desenvolvido pela *University of Technology of Helsinki* em 1999, que é bastante utilizado na Escandinávia e em alguns países e ainda o modelo DRACULA, desenvolvido pela *University of Leeds* com grande aplicação no Reino Unido [11].

4.3 Modelos para a segurança rodoviária

O potencial da micro-simulação em termos das indicações de algumas medidas de representação rodoviária referidas anteriormente tem sido objecto de estudo em cruzamentos sinalizados e não sinalizados. Face a isso, algumas autoridades internacionais têm desenvolvido um conjunto de modelos que permitiram aos engenheiros de tráfego, comparar a segurança rodoviária baseado em modelos de simulação de tráfego. Obviamente, a análise da segurança não se deve cingir ao uso simples das medidas, sendo que, estes modelos devem estar suportado por resultados detalhados referentes a testes estatísticos e ainda, a visualização dos eventos de conflitos.

O SSAM (“*Surrogate Safety Assessment Methodology*”) é uma metodologia que combina a micro-simulação com a análise da frequência conflitos de forma automatizada e também, o comportamento do veículo que evitou a colisão com outro. Desta forma, a segurança das instalações de tráfego é avaliada sem estar dependente de uma estatística considerada do número de acidentes ou feridos [11]. Este modelo foi desenvolvido em 2003 pela *United States Federal Highway Administration* (FHWA) e desde 2007 é distribuído gratuitamente através da SIEMENS [58], sendo que sua versão mais recente é a 2.1.6. Os seus principais objectivos, no âmbito da segurança rodoviária, foram:

- Compatibilidade com o maior número de modelos de simulação de tráfego;

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

- Fornecer uma ferramenta válida e fiável aos engenheiros de tráfego, de modo a que se possam fazer análises comparativas entre as instalações de tráfego;
- Usar as medidas representativas da segurança rodoviária que são observáveis nos modelos de simulação;
- Suporte flexível para os diferentes tipos de visualização [19,20].

O modelo calcula um conjunto de medidas referentes à segurança de uma dada configuração geométrica como sendo o TTC, PET ou ainda a MaxV, identificada através dos dados da trajectória do veículo provenientes de um simulador rodoviário compatível com o mesmo (VISSIM, AIMSUN, PARAMICS e TEXAS). Cada simulação feita resulta num ficheiro de dados que contem o tempo, posição e aceleração denominado TRJ, correspondente à extensão *.trj. O SSAM funciona como pós-processador, analisando diferentes ficheiros de dados relativos ao mesmo acontecimento. Este permite ainda, executar um conjunto de análises como sendo a geração e impressão de relatórios, visualizações gráficas e a realização de alguns testes estatísticos comparativos [19,20]. O seu modo de funcionamento pode ser visualizado na Figura 28.

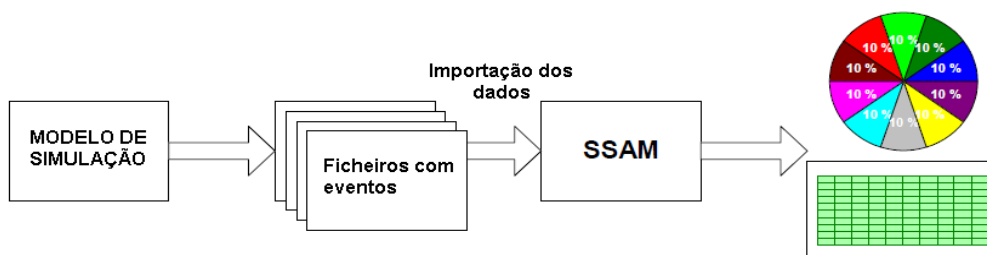


Figura 28: Diagrama do fluxo de informação [adaptado de 19]

Alguns investigadores especificaram um padrão aberto e “universal” dos dados da trajectória dos veículos de modo a fornecer a localização e as dimensões de cada um, para intervalos de tempo na ordem dos décimos de segundo. Todavia, a tecnologia de processamento de vídeo ainda não permite a extracção de dados directamente para o SSAM, sendo que é necessário um modelo de simulação que forneça as trajectórias do veículo [20].

A identificação dos conflitos é feita quando as trajectórias de dois veículos, isto é, velocidade e posição, indicam uma colisão iminente para um TTC e PET menores que 1,5 e 5,0 segundos, respectivamente. Uma vantagem do SSAM é a sua versatilidade em termos de análise de conflitos em qualquer tipo de estrada, apesar de ter sido desenvolvido ao nível das avaliações de cruzamentos e rotundas [19].

Outros modelos têm sido desenvolvidos apesar de não estarem inter-relacionados com as aplicações de simulação de tráfego anteriormente referidas e que denotam grandes potencialidades não só porque permitem avaliar a segurança da infra-estrutura rodoviária, mas também como bases de dados para análise de acidentes. No seguinte parágrafo são descritas as aplicações EUSKA, SINDI e ISAT.

O software EUSKA (do acrónimo alemão “*Elektronische Unfalltypen-SteckKArte*”) é uma ferramenta de análise de segurança geográfica desenvolvida na Alemanha, cuja finalidade é registar e gravar dados sobre acidentes numa dada via ou configuração geométrica, sendo que permite visualizar zonas de concentração de acidentes e estabelecer padrões de semelhança dos mesmos [59]. O projecto SINDI (resulta do acrónimo “*Safety INDICators*”) representa uma abordagem integrada e multi-disciplinar para a segurança rodoviária com o objectivo de investigar as mudanças de padrões de condução e da interacção entre os diferentes utilizadores de uma dada via que resultam da aplicação de uma medida ITS [60]. Finalmente, o modelo ISAT (“*Interchange Safety Analysis Tool*”) foi desenvolvido pela FHWA e permite avaliar os efeitos de segurança e o desempenho de um projecto geométrico de uma ou mais intersecções de estradas [61].

4.4 Síntese Conclusiva

Neste capítulo foram abordados os conceitos relacionados com os modelos de micro-simulação no âmbito de segurança rodoviária, visando comparar determinadas configurações da instalação de tráfego e que também, são de extrema importância para os engenheiros da área dos transportes, em termos de tomadas de decisão.

Os modelos microscópicos típicos têm a capacidade de simular um sistema de tráfego veículo a veículo, posição, velocidade, aceleração ou outras variáveis de estado. Estes incluem ainda a modelação com sinais de trânsito que é um requisito necessário para a implementação de um substituto em termos de medidas para a segurança rodoviária. Todos os softwares existentes denotam vantagens e limitações durante o processo de modelação do tráfego, o que indicia uma alteração futura e actualizações contínuas por parte dos mesmos.

No que concerne à avaliação da segurança, os modelos de micro-simulação ainda não são capazes de representar com alto nível de detalhe e flexibilidade necessários para este tipo de trabalho e ainda menos, incorporar medidas de segurança de proximidade para comparar com os resultados do próprio processo de modelação.

5. Metodologia

A metodologia seguida neste trabalho irá ser explicada neste capítulo com recurso ao fluxograma que segue abaixo, bem como a descrição das ferramentas VISSIM e SSAM utilizadas para a realização do estudo de caso e ainda, a caracterização de todos os cenários propostos e respectivas condições.

Na primeira fase deste trabalho, foi feita a análise do estado de arte do tema em questão, ou seja, foi feita a revisão bibliográfica sobre o panorama histórico e actual da sinistralidade, com principal ênfase à situação em Portugal. Foram, também, explicadas as vantagens e limitações dos modelos de previsão de acidentes, técnicas de conflito de tráfego e da micro-simulação no âmbito da avaliação da segurança rodoviária.

Posteriormente, na segunda fase, foi feita a simulação de uma rotunda no modelo VISSIM e estabelecidos diferentes cenários de modo a retratar diferentes situações de tráfego e com base nos dados da trajectória resultantes, obtidas na ferramenta SSAM, medidas representativas para a segurança rodoviária e a tipologia de conflitos.

Na terceira fase e usando a ferramenta estatística SPSS, foi feita uma análise estatística dos resultados através da comparação dos vários cenários para três volumes de tráfego distintos e ainda implementado um projecto alternativo ao estudo de caso inicial. Finalmente, efectuou-se uma correlação das frequências de conflitos obtidas para ambos os projectos com modelos de previsão de acidentes.

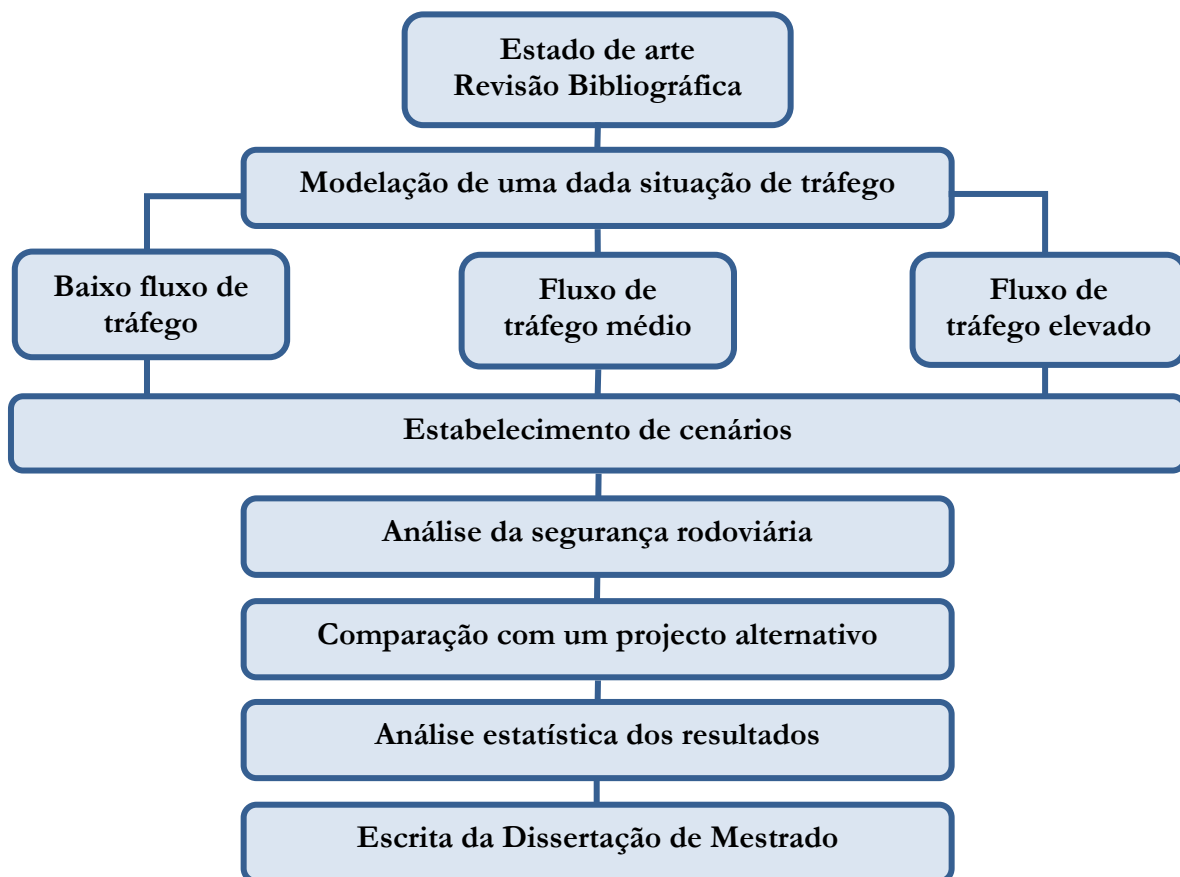


Figura 29: Fluxograma com a metodologia usada

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

A calendarização seguida neste trabalho foi a seguinte:

Quadro 3: Calendarização do trabalho

2010					
Tarefa	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
Estado de arte/Revisão bibliográfica					
Simulação de uma situação de tráfego					
Análise da segurança rodoviária					
Implementação de um projecto					
Análise estatística dos resultados					
Escrita da dissertação de mestrado					

5.1 Modelo VISSIM

A plataforma de modelação VISSIM (do acrónimo alemão “*Verkehr In Städten SIMulation*”) foi desenvolvida na Universidade de *Karlsruhe* (Alemanha) durante a década de 70. A sua distribuição comercial começou em 1993, através da PTV AG, sendo que a versão mais recente é a 5.20 [62].

O pacote de simulação é composto internamente por duas partes distintas, o simulador de tráfego e o gerador de sinal. Na primeira são geradas a visualização em tempo real das operações de tráfego e os dados de saída, tais como os tempos de viagem, comprimentos de uma fila, número de veículos na rede, entre outros. O gerador do sinal é um software de controlo das informações que resultam do simulador de tráfego, através de um detector de classificação que se baseia em passos de tempo discretos até 0,1 segundos. Posteriormente, determina o estado do sinal para o seguinte intervalo de tempo e retorna essa informação ao simulador de tráfego [62].

O modelo permite analisar fluxos de tráfego multi-modais, incluindo automóveis, camiões, autocarros, ferrovias e também, ciclistas e peões. A sua flexibilidade em termos de estrutura da rede fornece ao utilizador a capacidade de modelar qualquer tipo de configuração geométrica e também, o comportamento de um motorista ou peão inseridos num dado sistema de transporte. As aplicações mais comuns do VISSIM são:

- Estudos prévios relacionados com o ordenamento do território;
- Estudos de impacto ambiental;
- Sistemas de controlo de tráfego em horas de maior fluxo;
- Planeamento e modelação dos peões em qualquer tipo de ambiente;
- Estudos de viabilidade para a implementação de um dado modo de transporte numa cidade [19,62].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

O VISSIM tem sido utilizado para analisar redes de distintos tamanhos e tipos de estradas, inclusivamente para toda uma região metropolitana. Permite modelar ainda, uma grande variedade de geometrias complexas, entre as quais se destacam: vias reservadas para veículos com alta ocupação (HOV), nós de acesso a auto-estradas, ciclovias, ferrovias, rotundas, cruzamentos com fluxo de tráfego contínuo, parques de estacionamento, corredores de fluxo misto, áreas circundantes de aeroportos ou ainda paragens e terminais para diferentes tipos de transportes públicos [62].

O VISSIM é considerado um modelo completo em termos de detalhe de precisão das informações sobre o estado de cada variável. Este permite modelar com certo realismo, o comportamento de junção dos veículos, isto é, quando o veículo precedente mais rápido cria uma distância de segurança para não colidir com o veículo da frente. Outra vantagem do modelo é a representação do comportamento dos veículos em ruas de estacionamento de dupla fila. Porém, apresenta problemas resultantes das regras em intersecções que afectam o processo de modelação ao utilizador [19,20].

Nas secções seguintes são descritas as aplicações do modelo VISSIM. Dadas as variadas especificações que este permite configurar, são aqui descritas as funções mais relevantes para a concepção do estudo de caso da presente Dissertação.

Inicialmente, foi analisada a base de dados para a simulação de tráfego, nomeadamente a distribuição de algumas grandezas físicas dos veículos, tais como a aceleração e velocidade e também a configuração dos algoritmos do comportamento de condutor. Posteriormente, foram descritos os elementos usados para a modelação da rede rodoviária.

5.1.1 Base de dados para a simulação

Funções da aceleração e desaceleração

O modelo VISSIM não utiliza um valor fixo para a aceleração e desaceleração mas sim, funções representativas que dependem da velocidade instantânea. Para cada tipo de veículo, existem quatro gráficos para as funções características das mesmas.

- Aceleração máxima – valor tecnicamente viável da aceleração, usado apenas em situações em que esta suplanta a aceleração desejada, de modo a manter a velocidade em declives acentuados;
- Aceleração desejada – usada para qualquer outra situação;
- Desaceleração máxima – valor tecnicamente viável da desaceleração que é ajustado para declives entre $-0,1 \text{ m.s}^{-2}$ e $0,1 \text{ m.s}^{-2}$ por cada 1% de inclinação negativa ou positiva;
- Desaceleração desejada – resulta de factores específicos de uma situação de tráfego, por exemplo, causada por uma decisão de velocidade desejada ou de uma distância lateral insuficiente para efectuar uma ultrapassagem. Se o valor desta é inferior ao da desaceleração máxima, é usada como desaceleração máxima [62].

Os parâmetros relativos ao algoritmo Seguimento do Carro (“*car-following*”) são relevantes para qualquer dos casos, sendo que o utilizador pode definir as funções para uma dada velocidade do veículo. Na Figura 30 pode ser visualizada a distribuição da desaceleração

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

para um veículo ligeiro que reduz a sua velocidade de 50 km.h^{-1} até 0 km.h^{-1} . Na mesma é possível verificar que o valor médio da aceleração é de $-2,8 \text{ m.s}^{-2}$ [62].

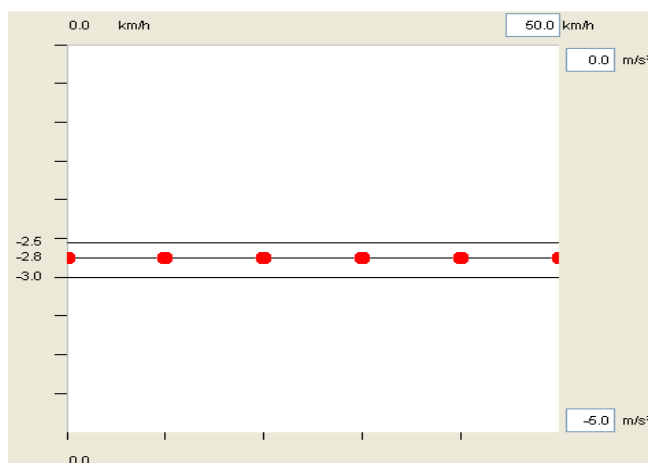


Figura 30: Distribuição da desaceleração para um veículo ligeiro [62]

Alguns parâmetros em VISSIM são definidos em forma de distribuição, em vez de um valor fixo. Desta forma, a natureza estocástica das situações de tráfego é expressa de modo mais realista. A distribuição da velocidade é um dos parâmetros mais importantes devido à influência na capacidade do veículo e nos factores de decisão. Se não houver uma interferência por parte de outros veículos, o condutor viaja à velocidade desejada com uma pequena oscilação. Para além da velocidade, a taxa de ocupação ou a potência são parâmetros cuja distribuição pode ser configurada [62].

Hierarquia dos veículos

O VISSIM usa um conceito hierárquico para definir as informações dos veículos em três níveis distintos. O primeiro consiste em agrupar os veículos por tipos, que se caracterizam por possuir o mesmo comportamento de condução e algumas características técnicas tais como a aceleração, desaceleração, peso ou potência. Os tipos de veículos considerados no VISSIM são: veículos ligeiros de passageiros, pesados de mercadorias, pesados de passageiros, bicicletas, eléctricos (“*tramway*”) e peões. O utilizador pode ainda inserir outros tipos de veículos e configurar o seu peso, largura, potência e as respectivas funções de aceleração e desaceleração, porém, o comprimento dos mesmos não pode ser editado. A divisão em classes consiste em combinar veículos com as mesmas avaliações de velocidade ou comportamento na escolha de um dado percurso. Finalmente, os veículos podem ser agrupados por categorias, que consistem em grupos com interações semelhantes [62].

Comportamento da condução

O modelo desenvolvido para o comportamento psico-físico do condutor aplicado no VISSIM é baseado nas obras de *Wiedemann* (1974 e 1991). O conceito básico do mesmo consiste numa tomada de decisão do condutor de um veículo mais rápido que inicia a desaceleração. Como este atingiu o limite de percepção face ao veículo mais lento e não tem conhecimento da velocidade do mesmo, diminui a sua velocidade. Quando esta atinge um

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

valor inferior à do veículo lento, volta a acelerar até ao limite de percepção. Isto resulta num processo iterativo de aceleração e desaceleração que pode ser visualizado na Figura 31 [62].

Na ideia básica do modelo, o condutor pode estar em quatro modos de condução distintos que são descritos em termos de velocidade, diferença de velocidades, distância e também nas características individuais do condutor e veículo. Seguidamente são apresentados as características anteriormente referidas:

- Condução livre – o comportamento do condutor não é influenciado por outros veículos, sendo que alcança e mantém a velocidade desejada;
- Aproximação – o condutor adapta a velocidade do veículo quando segue atrás de outro mais lento e desacelera, até que a diferença de velocidades entre ambos seja nula;
- Seguimento – o motorista segue um dado veículo sem qualquer aceleração ou desaceleração. Este mantém uma distância de segurança constante, porém, devido ao facto de que o controlo do acelerador não é constante, a diferença de velocidades entre ambos não é nula;
- Travagem – quando a distância de segurança é inferior à pretendida, são aplicadas taxas de desaceleração bastante significativas [62].

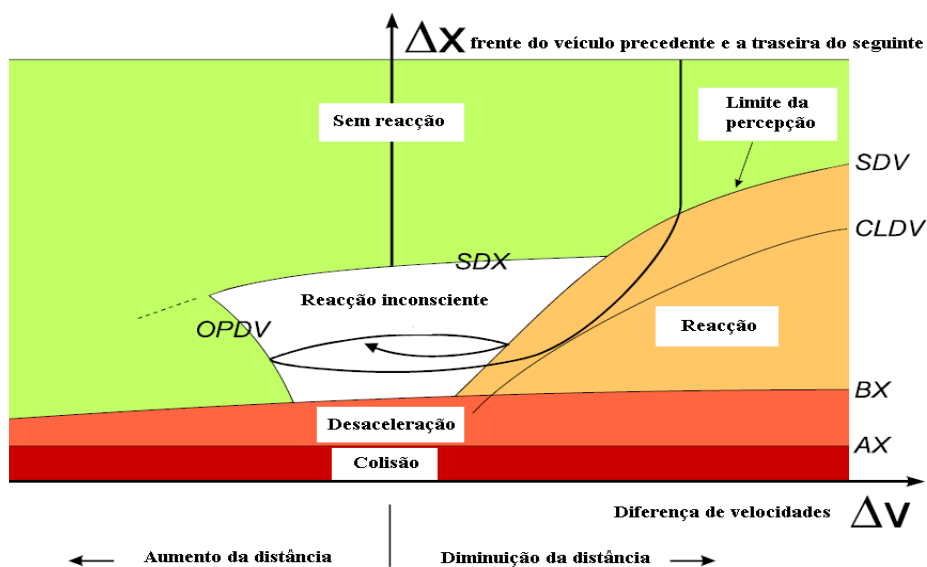


Figura 31: Lógica de Wiedemann para o algoritmo *car-following* [adaptado de 62]

No modelo de Wiedemann 74, o utilizador pode calibrar três parâmetros: a distância desejada entre os veículos parados, um factor aditivo e um factor multiplicador. Estes parâmetros permitem obter a distância de segurança pretendida entre os veículos através de uma relação matemática. O VISSIM inclui ainda o modelo de Wiedemann (1999) que contém 10 parâmetros abertos. Porém, este último é mais indicado para tráfego interurbano, ao

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

contrário do modelo *Wiedemann 74* que se aplica em ambientes urbanos [62]. Refira-se, que o VISSIM não permite definir uma distância de segurança para um tipo de veículos particular.

No que concerne às mudanças de vias, o VISSIM possui dois tipos: mudança necessária e livre. No primeiro, os parâmetros de condução devem conter uma aceleração máxima aceitável, quer para o veículo que efectua a mudança, quer para o que circula à sua direita. Um exemplo deste tipo é quando o veículo que circula na via mais interior de uma rotunda vai em direcção a uma saída e é obrigado a mudar para a via da direita [62].

O utilizador pode definir o nível de agressividade dos veículos envolvidos através dos limites de desaceleração entre um valor máximo e aceitável. Para além disso, uma Taxa de Redução (TR), em metros por cada 1 m.s^{-2} é usada para reduzir a desaceleração máxima com o aumento da distância em relação à paragem de emergência, do seguinte conector da rota do veículo [62]. Através desta, tem-se uma estimativa da distância para a qual a desaceleração passa do seu valor máximo até ao valor aceitável. Portanto, quanto menor for o intervalo entre as desacelerações máxima e desejada e maior TR, mais agressiva se torna a mudança de via, pois o condutor tem um espaço de manobra menor em relação à paragem de emergência. Na Figura 32 são ilustrados os efeitos dos parâmetros anteriormente referidos.

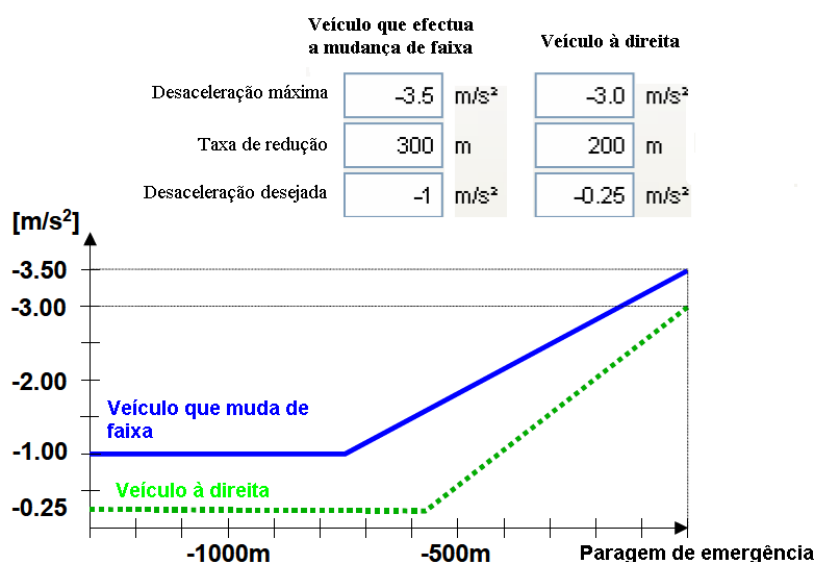


Figura 32: Intervalos de desaceleração dos veículos envolvidos numa situação de mudança de via [adaptado de 62]

No caso das mudanças livres, o VISSIM verifica sempre uma distância de segurança desejada em relação ao veículo que segue na via para a qual este pretende circular. Existem ainda outros parâmetros configuráveis como sendo o tempo máximo de espera do condutor na posição de paragem de emergência até o fluxo estar livre e também a distância mínima disponível, em relação ao veículo seguinte, para efectuar uma mudança de via [62].

Relativamente ao comportamento lateral dos veículos, alguns parâmetros podem ser configuráveis tais como a posição desejada na pista num fluxo sem veículos, selecção dos veículos passíveis de ultrapassar ou ainda o comportamento dos mesmos quando se aproximam de um dado sinal de controlo, por exemplo, um semáforo [62].

5.1.2 Concepção da rede gráfica

Codificação da rede

O primeiro passo para a codificação de uma rede VISSIM é a criação da rede de ligações, cujos elementos são representados na Figura 33. Cada abordagem e secções são representadas através de uma ligação (“*link*”), que deve representar a forma real da estrada. Para efectuar a junção entre as ligações, usam-se conectores (“*connectors*”). Quando estes últimos são introduzidos, existem dois parâmetros importantes que têm influência no comportamento da mudança de via referido anteriormente, para os carros que seguem uma determinada rota. Estes denominam-se por mudança de via (“*lane change*”) e paragem de emergência (“*emergency stop*”):

- Mudança de via: define-se como a distância em que os veículos tentarão mudar de via;
- Paragem de emergência: última posição possível para o veículo efectuar a mudança de via. Esta é medida a partir do início do conector. O valor mínimo da paragem de emergência é 5 metros. Se um veículo necessita de mudar uma via adicional, são necessários mais 5 metros e assim sucessivamente. Todavia, se a via para a qual o veículo pretende mudar possuir um veículo, são necessários mais 2,5 metros a fim de evitar uma colisão [62].

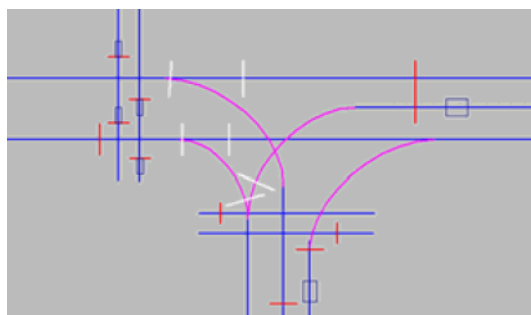


Figura 33: Definição das ligações (azul) e conectores (rosa) em VISSIM [62]

Regras de Prioridade

No VISSIM, as regras de prioridade consistem numa linha de paragem identificada por uma barra vermelha, e em vários marcadores de conflitos (barras verdes) associados à mesma. A potencial paragem dos veículos quando se aproximam da barra vermelha depende de duas condições nos marcadores de conflitos, referentes ao espaço e tempo, sendo descritas nos pontos seguintes:

- Distância mínima: é geralmente definida como o comprimento mínimo da área de conflito. Durante a simulação, o progresso actual é determinado pela distância entre o marcador de conflito (barra verde) e o primeiro veículo que se aproxima do mesmo. Se a distância do veículo que se aproxima ao sinal de paragem (barra vermelha) for menor que a distância mínima, este pára;

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

- Tempo mínimo de decisão: na simulação o tempo actual de decisão é determinado através do passo de tempo que o veículo necessita para alcançar o marcador de conflito à velocidade com que circula [62].

Um exemplo de aplicação destas duas condições é expresso na Figura 34. O veículo azul circula na via principal a 50 km.h^{-1} ($\approx 14 \text{ m.s}^{-1}$) e encontra-se a 49 metros da zona de conflito. Neste caso, o tempo actual de decisão é de $49/14 \approx 3,5$ segundos. Como o tempo mínimo de decisão é de 3 segundos, então o veículo amarelo não efectua paragem. O utilizador pode definir quais os tipos de veículos que têm prioridade numa dada zona, sendo particularmente interessante no dimensionamento da circulação dos peões nas passadeiras.

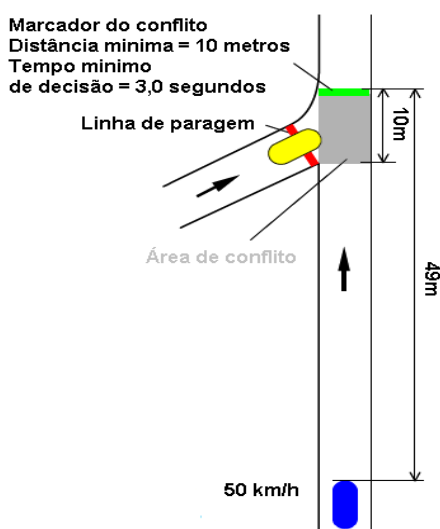


Figura 34: Exemplo de uma regra de prioridade num cruzamento [adaptado de 62]

Zonas de conflito

Uma alternativa às regras de prioridade é definir uma zona de conflito onde duas ligações se intersectam. Normalmente esta opção é a mais adequada, pois é simples de definir e o comportamento do condutor aproxima-se mais da realidade. O veículo da via secundária que se aproxima da zona de conflito verifica se existe um intervalo suficiente de quem circula na via principal e face a isso, efectua paragem se necessário. O veículo que segue nesta última, não tenta a colisão, logo se visualizar a entrada da zona de conflito por parte de outro, trava com antecedência para poder parar antes da mesma [62].

Todos os veículos da via principal e secundária tentam não entrar numa zona de conflito se não existe espaço suficiente a jusante para sair completamente da mesma. Isto significa que o movimento do veículo que entra na primeira área de conflito, numa sequência de várias, é sempre contínuo. Por outro lado, se o veículo de uma dada via secundária verifica que não pode sair completamente da zona de conflito, então efectua paragem. Todavia, caso este último tenha ocupado totalmente a área de conflito, esta última acção não é executada, independentemente do não cumprimento do tempo de aceitação para a acção [62].

A zona de conflito em VISSIM define-se com uma área a vermelho para o veículo que cede a passagem e a verde, para o que tem direito de prioridade (ver Figura 35). Contudo, o

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

utilizador pode definir ambas as zonas a vermelho nos casos em que existe uma junção de dois conectores numa única via e ambos os veículos não tem um direito de passagem favorável.

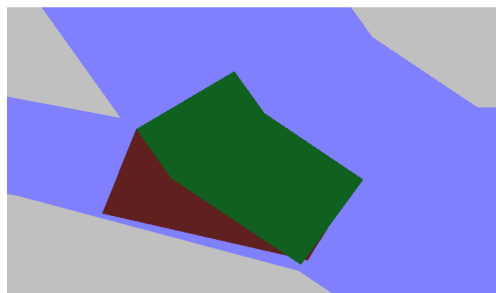


Figura 35: Definição de uma zona de conflito no modelo VISSIM [62]

Existem factores que influenciam o perfil de aceleração para os veículos que se aproximam da zona de conflito. As situações decorrentes diferem conforme o tipo de atributo que é definido, devido à alteração da velocidade por parte do condutor, face a uma modificação no tráfego. Os atributos mais relevantes para as situações de conflito são:

- Visibilidade: distância máxima em metros, que o veículo consegue visualizar outros que se aproximam da zona de conflito;
- Aceitação frontal: tempo mínimo em segundos entre a extremidade traseira do veículo na via principal e a frontal de quem circula na via secundária;
- Aceitação da retaguarda: tempo mínimo em segundos entre a extremidade traseira de um veículo que entra numa dada via secundária e a frontal de outro que o precede;
- Factor de segurança: este valor é multiplicado pela distância normal de segurança de um veículo que circula na estrada principal, a fim de determinar o espaçamento mínimo que o veículo da via secundária deve fornecer, no momento em que se encontra no interior da área de conflito [62].

Mudança de velocidade

Existem situações passíveis de alterar temporariamente a velocidade do veículo como curvas, reduções momentâneas da largura da estrada, cruzamentos ou rotundas. A definição das mudanças de velocidade pode ser feita de duas formas: temporariamente ou pré-definida para uma dada situação específica. O primeiro caso diz respeito à modelação de secções de baixa velocidade, enquanto o segundo, refere-se a locais onde são estipulados valores de desaceleração para um tipo de veículo específico, como por exemplo, sinais de limitação de velocidade ou indicação de uma curva [62].

O uso da redução de velocidade para uma situação específica é mais vantajoso, pois o comportamento do veículo é menos automático, ou seja, depende da desaceleração e da área definidas para a mesma. Quando um veículo chega a uma área de baixa velocidade, reduz a velocidade e após abandonar a mesma, acelera em função das características definidas para a tipologia do mesmo [62].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

No caso da redução temporária, o veículo desacelera antes da zona definida para a redução de velocidade e posteriormente, retoma a distribuição de velocidades que possuía no início [62].

Semáforos

No VISSIM os semáforos podem ser definidos para cada uma das classes existentes na sua base de dados ou definidas pelo utilizador. A definição dos semáforos é feita para cada via de circulação sendo representados através de uma linha de sinal de paragem (ver Figura 36). Quando o sinal é vermelho, os veículos aguardam a 0,5 metros antes da mesma. No caso particular do sinal amarelo, o VISSIM permite definir a probabilidade do condutor parar quando visualiza o mesmo [62].

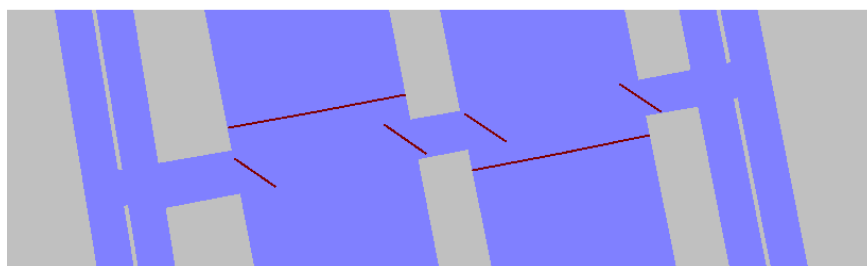


Figura 36: Definição das linhas de paragem dos semáforos numa dada passareira

Transportes Públicos

Todos os circuitos de tráfego operam num fluxo misto, ou seja com transportes públicos e também em modos não motorizados, sendo que podem ser definidas propriedades referentes às características de cada um. No caso dos transportes públicos tem-se as paragens reservadas aos autocarros e também a definição de uma linha de transportes públicos, incluindo os seus percursos, horários e ainda o fluxo horário de utilizadores. Todavia, não permite definir o tempo de paragem, sendo que independentemente do fluxo de pessoas, o autocarro fica parado durante 20 segundos. A existência da linha de transportes requer a definição prévia das paragens destinadas aos autocarros, que no VISSIM são de dois tipos: na própria via e numa via adjacente reservada. Por defeito, o modelo tem definido o direito de passagem para o autocarro quando este abandona a paragem [62].

Definição do tráfego automóvel

Depois de efectuada a modelação da rede de tráfego, é necessário implementar as informações referentes ao fluxo do mesmo. Este processo é sequencial e divide-se em três passos:

1. Composição dos veículos: definição dos veículos que fazem parte da rede gráfica modelada. Para cada composição inserida, são configurados o tipo de veículo, a percentagem relativa de cada um e também, a distribuição de velocidades;
2. Dados do volume de tráfego: implementação do número de veículos para cada ligação, num dado intervalo de tempo e para um tipo de veículos específico. A sua definição implica a existência de pelo menos um tipo de veículos na composição da

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

rede viária. Refira-se, que os dados dos veículos são expressos em veículo/hora para intervalos de tempo diferentes a uma hora. Todavia, o utilizador pode definir o número exacto de veículos para os intervalos de tempo referidos. Se o volume de tráfego exceder a capacidade definida para a ligação, os veículos são mantidos fora de rede, até o espaço estar disponível novamente;

3. Definição das rotas: as decisões do percurso de uma dada classe de veículos podem ser fixas ou aleatórias, através de ramificações contendo percursos alternativos [62].

Existe uma ferramenta denominada de decisões de percurso que permite atribuir percentagens para os diferentes destinos de uma mesma rota, todavia, não é indicada na modelação de rotundas [62].

Dados de saída

O VISSIM oferece uma ampla gama de avaliações que resultam em dados exibidos durante a simulação e que podem ser posteriormente configurados pelo utilizador. Esses dados incluem, entre outros, tempos médios de viagem, contadores estatísticos sobre a permanência dos veículos numa dada fila de trânsito, emissões de poluentes, distribuição do tempo na passagem no semáforo, distância percorrida, número de veículos e no caso concreto desta Dissertação, exportar os dados da trajectória no formato *.trj, para posterior análise no SSAM. Face à complexidade da rede, o utilizador pode definir redes nodais (“nodes”) para zonas específicas da via, de modo a registar alguns dos dados de saída anteriormente referidos [62].

Na seguinte figura é descrito de forma sucinta, o processo de análise da segurança rodoviária para uma dada configuração geométrica entre o VISSIM e o SSAM, com os respectivos dados de entrada e de saída.

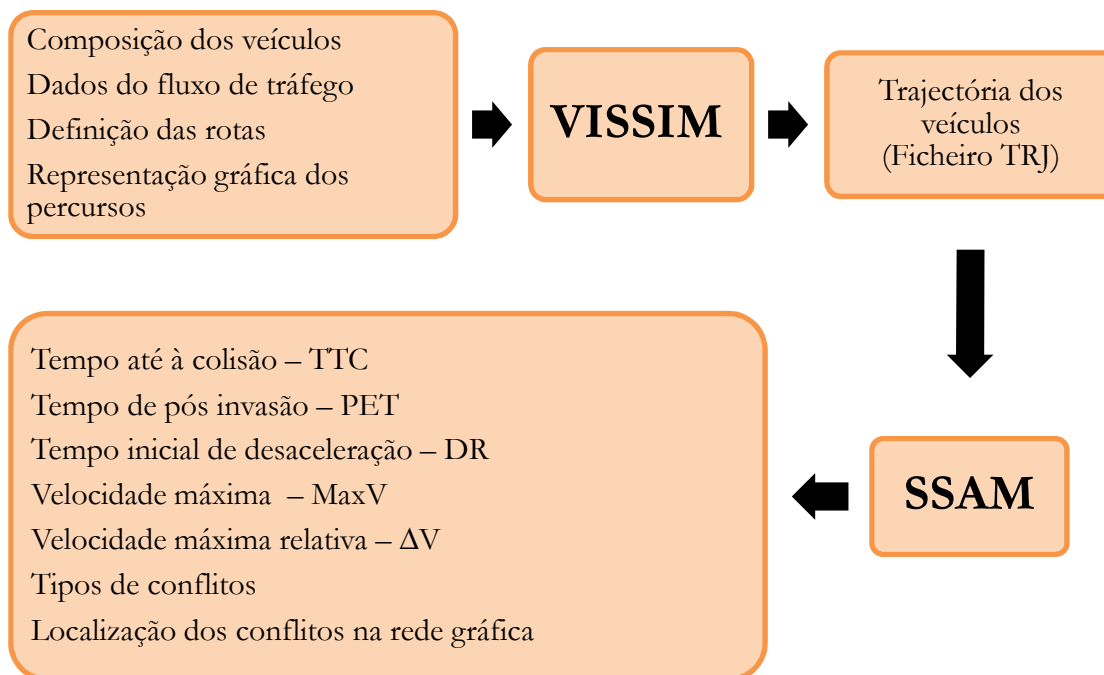


Figura 37: Fluxograma da interface entre os modelos VISSIM e SSAM

5.2 Características da aplicação SSAM

Neste subcapítulo é feita uma breve abordagem da versão 2.1.6 do software SSAM, usado para automatizar o processo de identificação dos conflitos e o cálculo das medidas representativas da segurança rodoviária. Este é organizado em duas secções distintas:

- Ambiente de trabalho;
- Classificação dos conflitos.

Existem ainda três secções relativas ao algoritmo para a identificação das medidas representativas da segurança e dos conflitos, bem como outras medidas identificadas pelo SSAM para além das usadas nesta Dissertação, que se encontram expostas no Anexo A.

5.2.1 Ambiente de trabalho

O utilizador começa por definir uma nova análise do caso em estudo no menu *Configuration* que se divide em três partes distintas: o *Case Information* no qual é identificado o nome do ficheiro, comentários vários e o nome do autor, bem como a data de análise do mesmo; no *Case Files* são introduzidos os ficheiros com a trajectória em formato *.trj que resultam do processo de simulação. Finalmente, podem ser estabelecidos os valores limites para as variáveis TTC e o PET que o SSAM tem definido por defeito de 1,5 segundos e 5,0 segundos, respectivamente. Para além disso, são indicados os intervalos para os ângulos de conflito usados para a classificação dos conflitos de retaguarda e passagem. O utilizador pode configurar os valores dos mesmos, bem como os valores limites de TTC e PET [58]. Na Figura 38 pode ser visualizado o menu *Configuration* do SSAM.

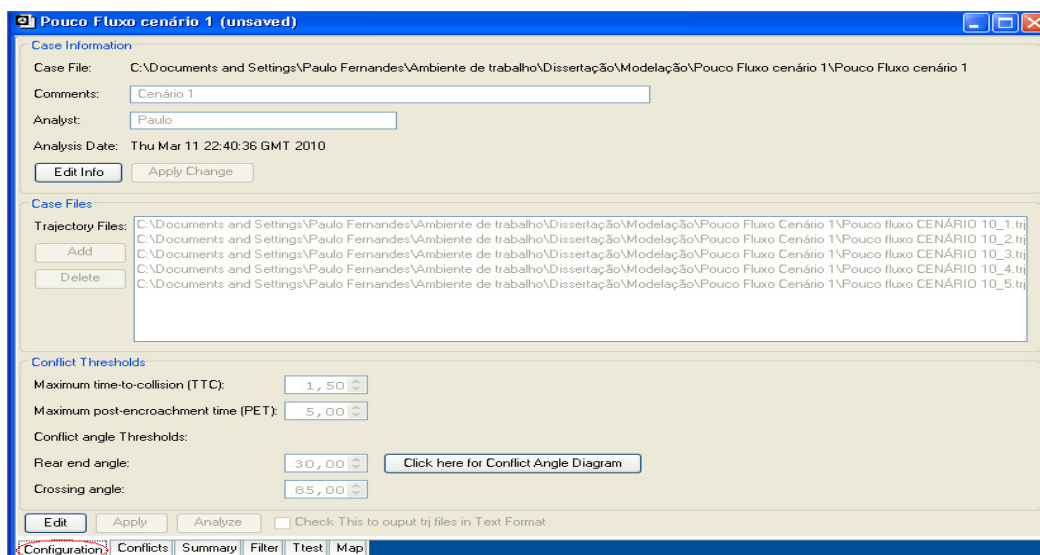


Figura 38: Interface do SSAM para a definição e configuração do caso em análise [58]

Posteriormente, o utilizador pressiona o botão *Analyse* e os dados são processados para analisar as interações veículo a veículo. Cada conflito identificado é listado num quadro em que são expressos todos os seus detalhes: classificação, localização e as medidas representativas da segurança (ver Figura 39) [58].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

trjFile	tMinTTC	xMinPET	yMinPET	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	MaxD	MaxDeltaV	ConflictAn...
Pouco fluxo ...	296,00	-134,30	-5,91	0,00	0,00	14,08	11,06	-0,21	-0,21	8,40	46,38
Pouco fluxo ...	385,40	-138,05	-7,11	0,00	0,00	15,87	14,29	0,30	0,30	10,89	57,43
Pouco fluxo ...	1.746,80	-162,25	0,51	0,00	0,00	15,55	5,78	-0,24	-0,24	4,41	21,75
Pouco fluxo ...	1.854,20	-161,30	-5,13	0,00	0,00	14,71	2,31	-0,05	-0,05	1,80	-9,02
Pouco fluxo ...	2.132,40	-135,59	-5,96	0,00	0,00	14,99	13,89	0,18	0,18	10,59	56,74
Pouco fluxo ...	2.222,60	-133,83	-5,45	0,00	0,00	15,04	12,41	0,15	0,15	9,68	52,38
Pouco fluxo ...	2.568,00	-101,43	44,26	0,00	0,00	14,67	1,67	-0,06	-0,14	0,83	5,97
Pouco fluxo ...	2.571,00	-141,58	56,35	0,10	0,60	14,58	1,95	0,06	0,06	0,98	-7,81
Pouco fluxo ...	2.576,20	-159,65	-3,46	0,00	0,00	15,38	0,63	0,14	0,14	0,31	-1,66
Pouco fluxo ...	2.608,20	-107,26	29,80	0,00	0,00	14,62	1,58	-2,03	-4,17	0,79	5,76
Pouco fluxo ...	3.540,40	-159,84	-3,17	0,00	0,00	14,25	1,72	-0,16	-0,16	1,32	6,66
Pouco fluxo ...	300,60	-109,75	46,79	1,30	2,00	7,84	7,84	-2,55	-3,82	3,99	56,72
Pouco fluxo ...	462,40	-109,63	25,15	0,00	0,00	13,74	1,16	-0,04	-0,04	0,88	-4,85
Pouco fluxo ...	637,00	-141,31	-8,01	0,00	0,00	13,94	13,84	-0,20	-0,20	7,04	61,73
Pouco fluxo ...	665,80	-160,81	-1,54	0,00	0,00	15,40	5,47	-0,14	-0,14	4,27	20,55
Pouco fluxo ...	848,40	-133,23	-5,55	0,00	0,00	15,29	7,77	-0,34	-0,34	3,95	30,46
Pouco fluxo ...	989,60	-139,62	-7,55	0,00	0,00	14,72	12,65	-1,24	-1,24	9,61	52,49
Pouco fluxo ...	2.205,00	-134,00	-5,80	0,00	0,00	15,29	11,83	-0,26	-0,26	8,92	47,28
Pouco fluxo ...	2.394,80	-158,44	-5,57	0,00	0,00	15,23	1,79	-0,22	-0,22	0,94	0,99
Pouco fluxo ...	2.647,40	-108,94	25,16	0,00	0,00	14,68	1,58	-0,20	-0,20	0,83	-6,12
Pouco fluxo ...	3.329,40	-108,87	28,58	0,00	0,00	14,40	1,36	-0,28	-0,28	1,06	4,73
Pouco fluxo ...	112,80	-135,15	-6,22	0,00	0,00	15,17	10,94	0,19	0,19	8,54	44,41
Pouco fluxo ...	349,40	-132,90	-5,45	0,00	0,00	14,33	10,73	-0,09	-0,09	5,36	45,92
Pouco fluxo ...	709,20	-132,33	-7,23	1,30	0,60	14,39	7,19	-6,74	-6,79	5,61	-29,40
Pouco fluxo ...	760,00	-135,65	-6,38	0,00	0,00	14,74	12,42	-0,21	-0,21	9,69	50,67
Pouco fluxo ...	948,80	-160,98	-5,26	0,00	0,00	15,56	1,29	0,25	0,25	1,01	-3,61
Pouco fluxo ...	1.013,80	-140,36	-7,75	0,00	0,00	15,59	15,07	-0,21	-0,21	11,45	60,76
Pouco fluxo ...	2.108,20	-165,35	-1,83	0,00	0,00	14,77	4,77	-0,16	-0,24	3,64	-18,85
Pouco fluxo ...	2.235,00	-134,97	-6,14	0,00	0,00	15,66	12,39	0,25	0,25	9,52	49,59
Pouco fluxo ...	2.239,20	-97,85	49,85	0,10	2,00	9,54	1,59	-1,25	-1,44	0,80	5,00

Figura 39: Menu do SSAM com a identificação dos conflitos [58]

O menu *Summary* (ver Figura 40) contém um quadro resumido dos conflitos para cada simulação analisada e também das medidas representativas da segurança em termos de valores mínimos, máximos, médias e variâncias [58].

Summary ...	SSAM_M...	Min	Max	Mean	Variance
Summary Gro...	SSAM Meas...	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered-All ...	TTC	0,00	1,50	0,13	0,13
Unfiltered-All ...	PET	0,00	2,00	0,15	0,19
Unfiltered-All ...	MaxS	7,53	15,87	14,38	3,12
Unfiltered-All ...	DeltaS	0,63	15,32	7,28	26,05
Unfiltered-All ...	DR	-6,97	2,21	-0,68	3,39
Unfiltered-All ...	MaxD	-7,07	2,21	-0,77	3,81
Unfiltered-All ...	MaxDeltaV	0,31	11,64	5,05	14,25
Summary Gro...	SSAM Meas...	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered C:\...	TTC	0,00	0,10	0,01	0,00
Unfiltered C:\...	PET	0,00	0,60	0,05	0,03
Unfiltered C:\...	MaxS	14,08	15,87	14,88	0,30
Unfiltered C:\...	DeltaS	0,63	14,29	6,12	31,30
Summary ...	Total	Unclassified	Crossing	RearEnd	LaneChan...
Unfiltered-All ...	44	0	0	21	23
Unfiltered C:\...	11	0	0	7	4
Unfiltered C:\...	10	0	0	5	5
Unfiltered C:\...	12	0	0	5	7
Unfiltered C:\...	5	0	0	1	4
Unfiltered C:\...	6	0	0	3	3

Figura 40: Sumário dos tipos de conflito e medidas representativas no SSAM [58]

O SSAM inclui uma ferramenta de filtragem dos resultados obtidos (“*Filter*”) que é bastante útil nas situações em que o número de simulações é elevado (ver Figura 41). Deste

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

modo, o utilizador pode discernir potenciais semelhanças no número de conflitos obtidos. A filtragem pode ser feita, usando cinco critérios distintos:

- Estabelecer intervalos para as medidas representativas;
- Visualização de um tipo particular de conflitos;
- Visualização dos conflitos para uma determinada ligação ou conector da rede gráfica;
- Visualização dos conflitos para uma dada área circundante da rede gráfica;
- Selecção de uma simulação particular para visualização dos resultados [58].

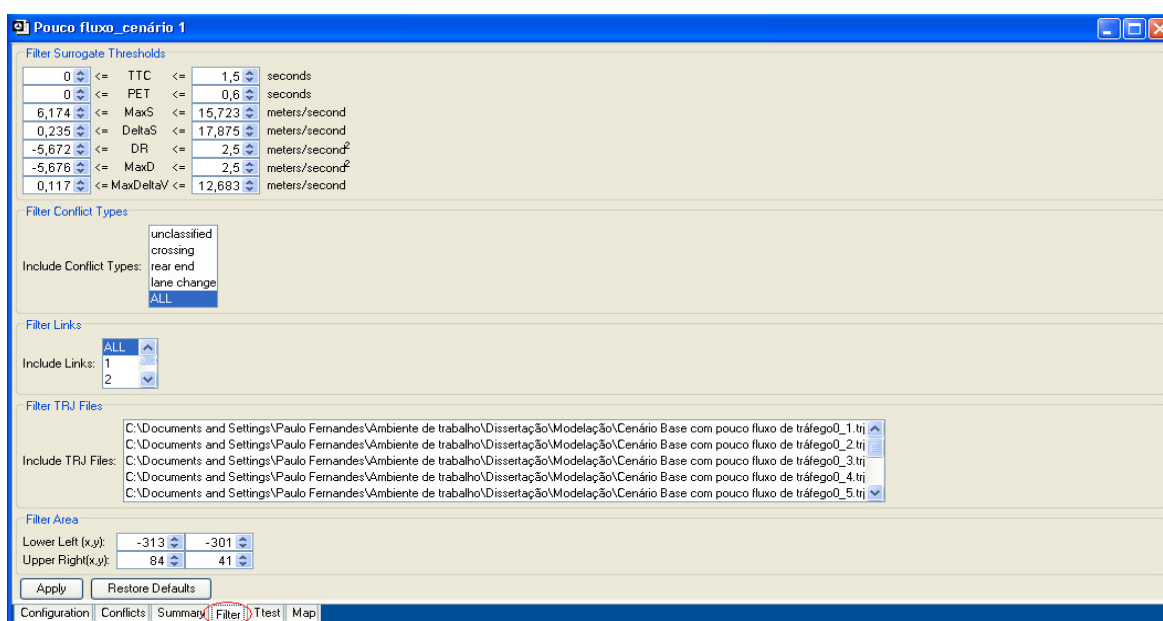


Figura 41: Menu do SSAM para a filtragem dos resultados [58]

No menu “*T test*” (ver Figura 42) são realizados testes estatísticos para comparar as medidas representativas e a frequência de conflitos para geometrias alternativas, através dos testes t de *Student* e f de *Fisher* para a verificação da diferença de médias e variâncias, respectivamente. Este é constituído por três secções: importação de ficheiros adicionais, configuração dos níveis de significância dos testes estatísticos e ainda, a visualização dos resultados [58].

Finalmente, o modelo contém um recurso para visualizar tipos de conflito para vários intervalos de TTC definidos. Estes podem ser visualizados dentro de um mapa ou importados para o SSAM como imagem gráfica (suportado por mais de 20 formatos) ou no caso particular do VISSIM, num arquivo *.inp. O parâmetro do SSAM que permite a visualização gráfica dos resultados denomina-se de mapa (“*Map*”) e é dividido por duas secções. A primeira refere-se à informação do mesmo, na qual são importados os arquivos para visualização e ainda a configuração dos tipos de conflitos e os intervalos de TTC no mapa. A segunda corresponde à

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

exibição do mapa importado [58]. Refira-se ainda, que o utilizador pode clicar numa dado conflito de mapa e visualizar os dados referentes às medidas representativas do mesmo e as trajetórias dos veículos envolvidos. Na Figura 43 são ilustradas as secções referidas.

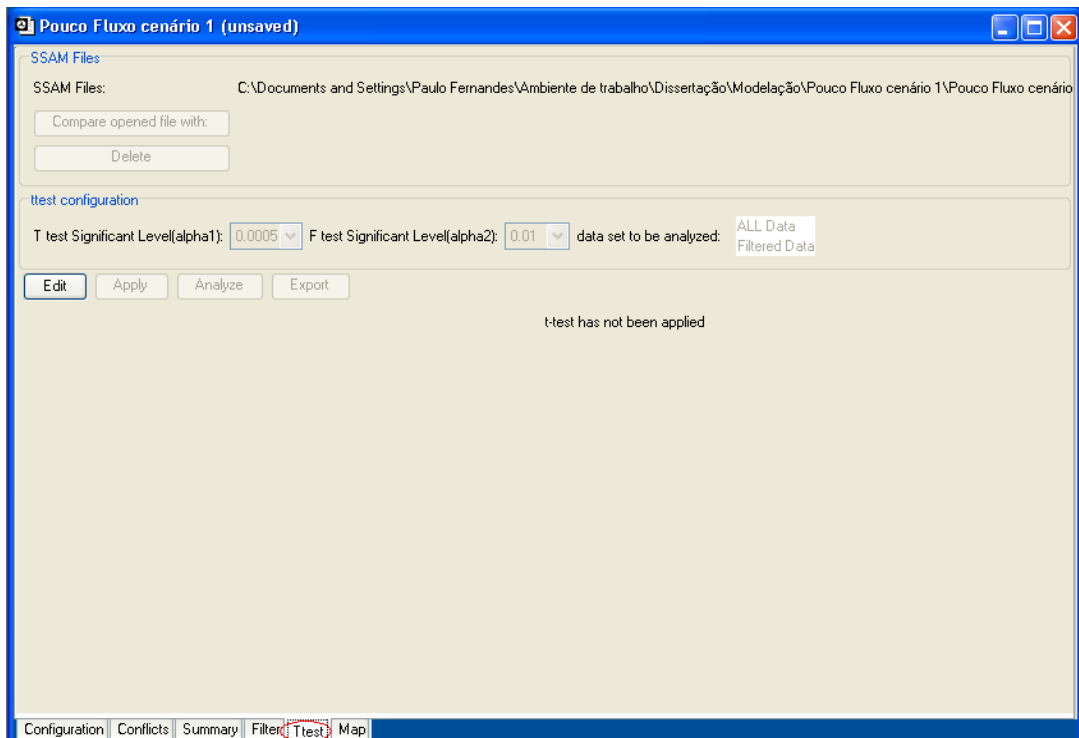


Figura 42: Menu do SSAM para a realização de testes estatísticos [58]

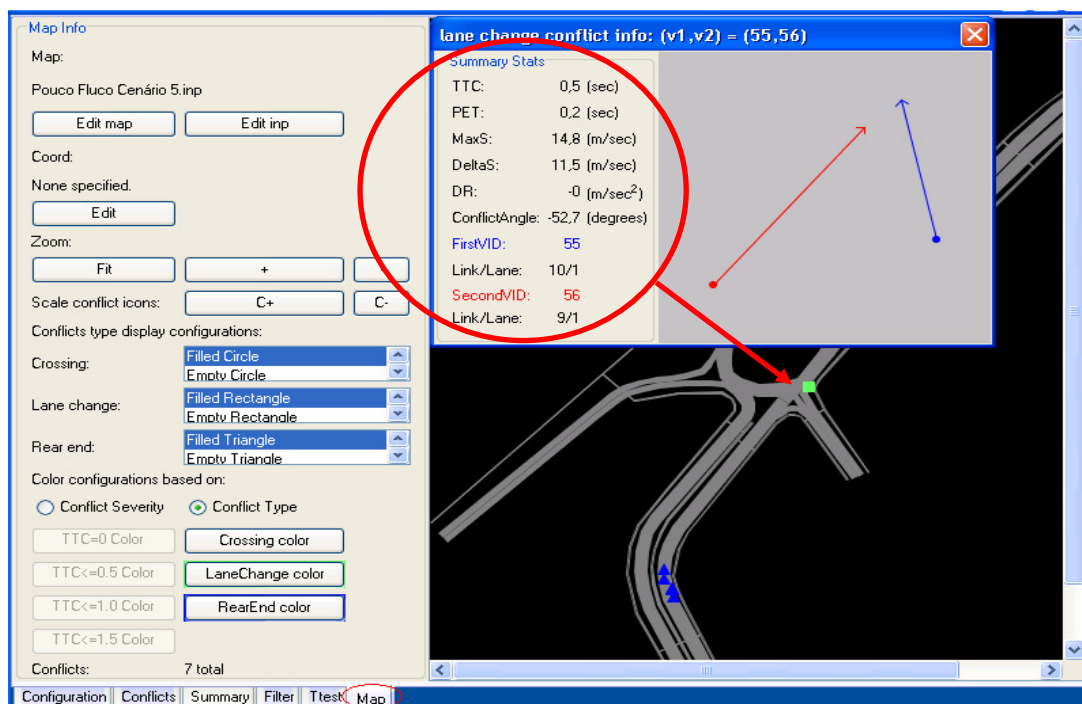


Figura 43: Menu do SSAM para visualização de um cenário do VISSIM [58]

5.2.2 Classificação dos conflitos

A metodologia para determinar os tipos de conflitos existentes é baseada na determinação de um ângulo de conflito que se define como um ponto de colisão hipotética para o qual os veículos convergem. O ângulo é expresso na perspectiva do primeiro veículo que atinge o ponto de conflito, ilustrando a direcção de onde o segundo veículo surge em relação a este. Os valores angulares positivos e negativos indicam uma aproximação pela direita e esquerda, respectivamente. Assim sendo e como pode ser visualizado na Figura 44, a gama de ângulos varia entre $\pm 180^\circ$ [19].

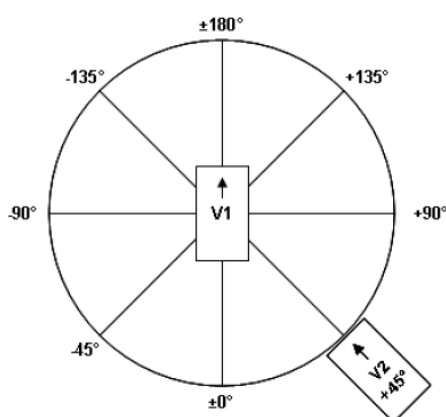


Figura 44: Ilustração do ângulo de conflito [19]

O SSAM baseia-se geralmente no ângulo de conflito, porém a informação das ligações (“*links*”) usadas para a concepção da rede gráfica, podem afectar a classificação final do tipo de conflito. Por exemplo, se dois veículos têm um conflito sobre a mesma ligação, este é sempre do tipo de retaguarda, independentemente do ângulo de conflito. Outra situação é quando dois veículos estão na mesma ligação e um destes, decide mudar de via. Neste caso, o tipo de conflito é de mudança de via [19].

Quando a ligação (“*link*”) e a informação da via não estão disponíveis para ambos veículos, o tipo de evento é classificado unicamente a partir dos ângulos de conflito. Por defeito, o SSAM classifica os tipos de conflito da seguinte forma:

- Conflitos de passagem: ângulos de conflitos $> 80^\circ$;
- Conflitos de retaguarda: ângulos de conflitos $< 30^\circ$;
- Conflitos de mudança de via $30^\circ \leq$ ângulos de conflito $\leq 80^\circ$;
- Não classificados: ângulos de conflito desconhecidos [19].

5.3 Estudo de caso

Para a realização deste estudo, foi seleccionada uma das rotundas mais movimentadas da cidade de Aveiro que é um dos acessos principais à Universidade e ao Hospital. Dado se tratar de uma rotunda urbana, a velocidade máxima permitida em todos os ramos da mesma é de 50 km.h^{-1} . Esta rotunda é constituída por 5 ramos de acesso, sendo que cada um permite

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

circular em ambos os sentidos de circulação. A ilha central apresenta uma forma elipsoidal e o anel periférico apresenta duas vias de circulação em toda a sua secção. No Quadro 4 é feita uma descrição dos ramos de acesso à rotunda.

Quadro 4: Descrição dos ramos de acesso à rotunda do estudo de caso

Ramo de acesso	Sentido de circulação	Nº de vias
Avenida Artur Ravara	Entrada/saída	2+2
Rua Calouste Gulbenkian	Entrada/saída	1+1
Avenida Padre Fernão de Oliveira	Entrada/saída	1+1
Avenida da Universidade	Entrada/saída	2+2
Acesso ao Hospital	Entrada/saída	1+1

Os ramos serão numerados a partir da Avenida Artur Ravara (sentido nordeste) e no sentido de circulação de tráfego. Assim sendo, esse ramo será o 1 e o correspondente ao acesso ao hospital será o número 5, conforme pode ser visualizado na Figura 45. Devido à proximidade entre a entrada da rotunda a partir do ramo 4 e a saída da mesma em direcção ao ramo 5, existe no primeiro ramo, uma via segregada de viragem à direita.



Figura 45: Numeração dos ramos de acesso à rotunda do estudo de caso [63]

Em Outubro de 2008, a Câmara Municipal de Aveiro efectuou contagens durante uma semana em alguns pontos da cidade de Aveiro, incluindo a rotunda do estudo de caso. A contagem e classificação fez-se através do VIACONT II que é um sistema versátil e compacto de recolha de dados de tráfego, baseado num radar de microondas por efeito de *Doppler* que tem integrado uma memória de dados, relógio em tempo real, interface de dados e uma bateria. O processo mediu o número, comprimento e velocidade dos veículos, bem como o intervalo de tempo de passagem entre automóveis e os respectivos sentidos de circulação [64]. Segundo as mesmas, o volume médio de tráfego diário dos ramos 1,2 e 4 (nos restantes não

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

foram efectuadas medições) no sentido da rotunda, variou entre 23000 veículos durante os dias de semana e os 18000 durante o fim-de-semana, conforme apresentado no Quadro 5 [64].

Quadro 5: Fluxo médio de tráfego por dias de semana [64]

Total	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 4	Total
Segunda	7663	7573	8195	23431
Terça	7369	7494	8177	23040
Quarta	7388	7595	8213	23196
Quinta	7559	7586	8394	23539
Sexta	7779	7944	8767	24490
Sábado	5894	6223	7010	19127
Domingo	4809	6444	6254	17507
Média	6923	7266	7859	22047

Na Figura 46 tem-se ilustrado o volume médio de tráfego durante os dias de semana nos ramos referidos para períodos de uma hora ao longo do dia. Como se pode visualizar, o pico de fluxo ocorreu entre as 17:00h-18:00h com cerca de 1800 veículos, todavia foram verificados valores de tráfego próximos (cerca de 99% do valor de pico) entre as 8:00h-9:00h e as 18:00h-19:00h. O período de menor fluxo de tráfego foi registado entre as 3:00h-4:00h.

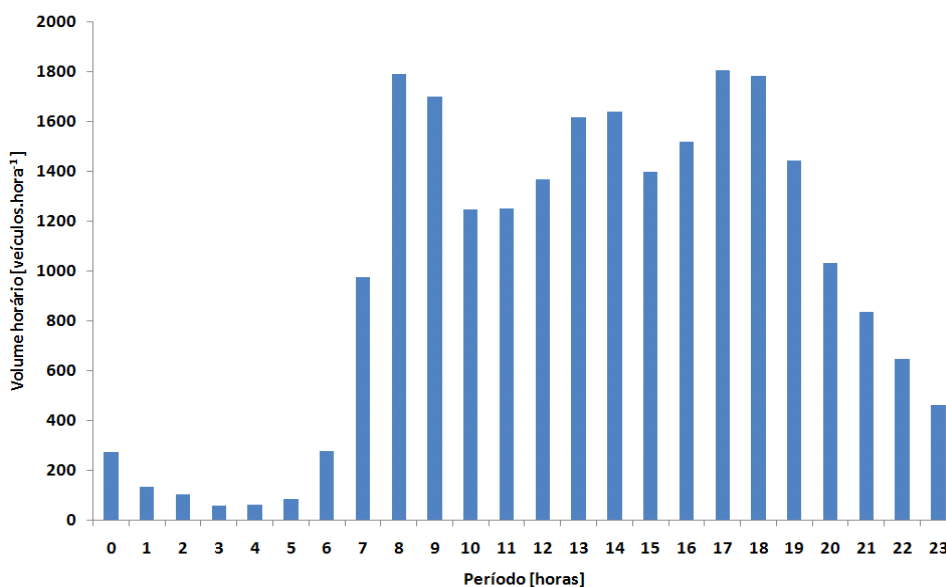


Figura 46: Distribuição diária do volume médio de tráfego durante os dias úteis [64]

No que concerne à tipologia do tráfego e segundo a Figura 47, 49% foram veículos ligeiros de passageiros, seguido dos veículos comerciais e os pesados de mercadorias com massa superior a 7,5 toneladas, com 23% e 20% respectivamente [64].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

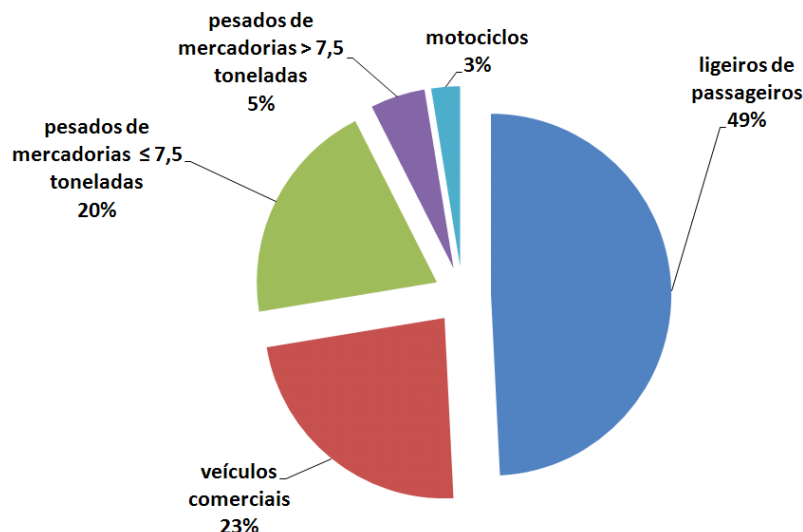


Figura 47: Distribuição do volume de tráfego por modo de transporte [64]

Na análise experimental desta Dissertação, foram estabelecidos vários cenários para o estudo de caso, de forma a analisar o seu efeito no que concerne às medidas representativas da segurança rodoviária e nos tipos de conflitos resultantes. Foram simulados três cenários iniciais, correspondentes a três volumes de tráfego distintos em que se considerou uma velocidade máxima de 50 km.h^{-1} , sem interacção com peões e ainda, os valores dos parâmetros da agressividade que o VISSIM tem por defeito. Posteriormente, implementou-se uma análise de sensibilidade, em que se alterou um dos parâmetros referidos anteriormente, mantendo inalterados os restantes:

- Velocidade máxima de 40 km.h^{-1} ;
- Condução agressiva;
- Interacção com peões.

O primeiro passo do processo da simulação consistiu na construção da rede gráfica da rotunda e os seus ramos respectivos. A obtenção das suas dimensões foi feita recorrendo a uma imagem em satélite à escala real, usando os dados fornecidos pelo Sistema de Informação Geográfica da Câmara Municipal de Aveiro [64].

Os volumes de tráfego inseridos no modelo de tráfego foram referentes a um período de uma hora, divididos em intervalos de 15 minutos. Tendo em conta os dados apresentados, foram seleccionados os valores de quinta-feira e os períodos entre as 6:00h-7:00h, 10:00h-11:00h e 17:00h-18:00h para representar um volume de tráfego baixo, médio e elevado, respectivamente. A justificação deste dia para as contagens está relacionada com o facto de que nos dias de fim-de-semana, o volume de tráfego é menor (ver Quadro 5) e na segunda e sexta-feira, o comportamento do tráfego nas horas de ponta é diferente ao verificado durante os restantes dias úteis da semana [65].

Todavia, as contagens de tráfego não fizeram distinção entre veículos pesados de mercadorias e de passageiros, sendo que nas mesmas, os veículos só são discriminados em termos de massas superiores e inferiores a 7,5 toneladas. Este aspecto é importante, pois os

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

ramos 1 e 4 possuem paragens para autocarros na via direita de ambos. Dado que os autocarros urbanos têm uma massa superior a 17,5 toneladas [66], uma percentagem de pesados registados são referentes a este tipo de transporte. Para obter a sua frequência, foram consultados os horários das empresas [66,67] que efectuem paragens nos locais referidos para os períodos escolhidos. Existem outras empresas com autocarros que passam nos ramos 1 e 4 mas que não efectuem paragens, sendo que para efeitos de simulação, foram considerados como pesados, pois não foram registadas as suas frequências. Por último, refira-se que o sistema de contagem não efectuou medições nos ramos 3 e 5, e o primeiro regista elevados volumes de tráfego. Face a isso, foram efectuadas contagens dos veículos que acediam à rotunda a partir dos ramos 3 e 5, nos horários seleccionados durante os dias 11 e 25 de Março de 2010 e ainda, 8 e 15 de Abril do mesmo ano, correspondentes a quintas-feiras.

No Quadro 6 são apresentados os volumes de tráfego inseridos na simulação, divididos em intervalos temporais de 15 minutos. Como o modelo VISSIM não faz a distinção dos pesados em termos de massa, o número destes conforme apresentado no mesmo quadro, foi obtido da seguinte forma: inicialmente, somaram-se os valores dos pesados com massa inferior e superior que 7,5 toneladas e posteriormente, fez-se a diferença entre este valor e a frequência de autocarros que efectuem paragens nos ramos 1 e 4. Os valores referentes aos horários dos autocarros, bem como dos volumes de tráfego medidos para os ramos 3 e 5, encontram-se no Anexo B desta Dissertação.

Quadro 6: Volumes de tráfego inseridos na simulação para os três períodos seleccionados

Ramo		1			2			3			4			5		
Tipo de veículo	Intervalo [min]	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E
Ligeiros de passageiros	0-15	2	32	68	8	35	109	0	35	68	0	32	48	1	4	29
	15-30	1	41	55	1	44	110	0	44	71	1	35	39	0	8	11
	30-45	1	28	67	7	36	96	1	36	80	2	34	61	2	3	14
	45-60	3	46	81	13	30	101	1	30	80	3	38	53	1	9	8
Veículos comerciais	0-15	4	39	46	5	31	21	0	8	1	3	19	32	0	7	5
	15-30	0	32	49	4	22	16	0	0	3	4	19	35	0	3	0
	30-45	4	33	43	8	23	16	0	0	1	2	14	19	0	0	0
	45-60	1	30	52	4	22	23	0	2	3	3	21	28	0	1	1
Pesados de mercadorias	0-15	1	27	28	0	0	4	0	0	0	7	69	63	0	0	0
	15-30	0	19	29	0	0	6	0	0	0	3	64	64	0	0	0
	30-45	1	34	15	0	0	1	0	0	0	5	61	52	0	0	0
	45-60	1	17	36	2	0	6	0	0	0	1	65	67	0	0	0
Urbanos	0-15	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
	15-30	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	30-45	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
	45-60	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

Legenda: B – volume baixo, M – volume médio, E – volume elevado

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Na Figura 48 é ilustrada a modelação do estudo de caso em VISSIM com os respectivos ramos de acesso.



Figura 48: Simulação da rotunda do hospital no VISSIM [63]

Refira-se que os parques de estacionamento existentes não foram simulados no VISSIM, pois a sua maioria, encontram-se perpendiculares à via de circulação e o modelo apenas permite modelar parques transversais. No que concerne às intersecções entre os ramos e a rotunda, foram definidas zonas de prioridade, bem como na entrada do hospital a partir do ramo 4 (ver Figura 49). Porém, na zona de intersecção entre a entrada da rotunda a partir do ramo 4 foi criada uma zona de prioridade (ver Figura 50) a fim de evitar potenciais situações de conflito entre os veículos, devido à pequena distância entre esta e a entrada do hospital. Esta ferramenta permite que o utilizador desloque a linha de cedência de passagem a uma distância superior (ou inferior) à da zona de conflito.

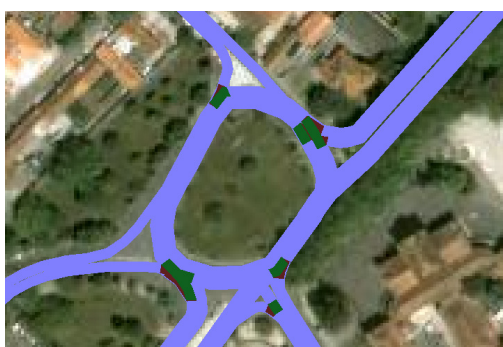


Figura 49: Localização das zonas de conflito [63]



Figura 50: Regra de prioridade no ramo 4 [63]

Face à visibilidade reduzida da curva existente no ramo 4 (ver Figura 51), foi definida em ambos os sentidos, uma área de redução de velocidade com 40 metros de comprimento, tendo em consideração as características geométricas da curva [64], em que todos os veículos desaceleram 1 m.s^{-2} , valor que o VISSIM tem por defeito na sua base de dados.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária



Figura 51: Simulação e imagem da área de redução da velocidade do ramo 4 [63]

O comportamento das cancelas que permitem entrar e sair no hospital foi simulado através da introdução de um sinal de paragem obrigatória em ambos os sentidos, conforme pode ser visualizado na Figura 52. Finalmente, foram criadas zonas reservadas às paragens dos autocarros para os ramos 1 e 4 (ver Figura 53).



Figura 52: Simulação e imagem da paragem obrigatória na entrada e saída do hospital [63]



Figura 53: Localização na simulação das paragens dos autocarros nos ramos 1 e 4 [63]

A modelação dos peões foi semelhante à dos veículos sendo considerada uma distribuição da sua velocidade entre 1 e 2 km.h⁻¹ [68] e uma largura dos passeios de 2,5 metros. Face à ausência de registos sobre o fluxo deste modo de transporte, foram efectuadas

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

contagens do número de peões que acediam à rotunda a partir dos seus ramos e nos períodos seleccionados. Os resultados das mesmas são apresentados no Quadro 7 divididos em intervalos de 15 minutos. Na Figura 54 pode ser visualizada a localização das zonas pelas quais os peões se movimentam, bem como as passagens nos ramos da rotunda.

Quadro 7: Fluxo de peões registados no local para os ramos da rotunda

Ramo	1			2			3			4			5		
Intervalo [min]	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E	B	M	E
0-15	0	23	13	0	8	3	0	14	36	4	20	47	0	6	55
15-30	0	37	10	0	14	1	0	11	26	5	24	38	1	25	36
30-45	3	43	10	0	12	5	0	7	20	7	16	21	0	43	33
45-60	2	14	14	0	6	9	2	16	20	10	28	33	2	49	42

Legenda: B – volume baixo, M – volume médio, E – volume elevado

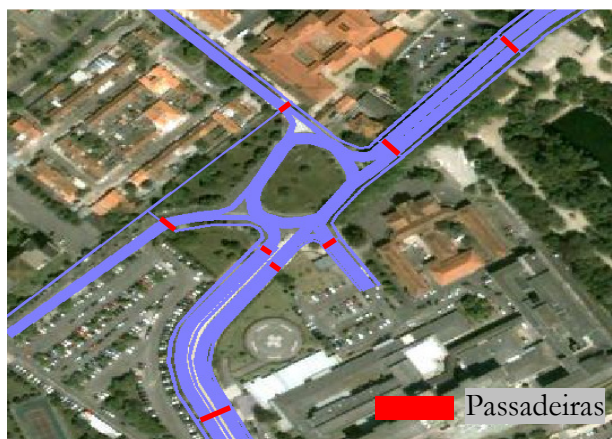


Figura 54: Simulação do caso de estudo com as ligações destinadas aos peões [63]

A modelação do comportamento dos peões quando atravessam as passadeiras foi feita recorrendo a uma regra de prioridade para os veículos motorizados, ou seja, quando o peão entra na passadeira, todos os veículos motorizados efectuem uma paragem. A sua visualização pode ser vista na Figura 55, em que a linha de paragem foi colocada a 1,5 metros do local de passagem dos peões [69]. Em termos de parâmetros, definiu-se uma distância mínima de decisão de 5 metros para os ramos com uma via, tendo em consideração que metade da largura da via é de 3,5 metros [64] e 9 metros, para os ramos com duas vias.

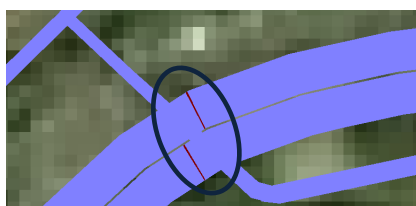


Figura 55: Definição da regra de prioridade para a passadeira existente no ramo 3 [63]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

O aumento da agressividade do condutor fez-se para os três algoritmos do comportamento do mesmo, ou seja, seguimento do carro em fila, mudança de via e tempo de aceitação. Para o seguimento em fila, foram diminuídos os 3 parâmetros relativos à distância de segurança entre os veículos, para metade do caso inicial. No que concerne à mudança de via, diminuí-se a desaceleração máxima dos dois veículos envolvidos na manobra e aumentada a Taxa de redução (TR) da mesma de modo a variar mais acentuadamente o valor da desaceleração. Na regra de prioridade no ramo 4 foi diminuída a distância e o tempo mínimo de aceitação. Finalmente, foram diminuídos os tempos de aceitação frontal e retaguarda nas zonas de conflitos situadas nas intersecções entre os ramos e a rotunda. No Quadro 8 são apresentados os parâmetros gerais relativos ao cenário inicial e que foram alterados para os diferentes cenários ensaiados.

Quadro 8: Parâmetros de entrada para os diferentes cenários

Cenário	Condições gerais
1 Inicial	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição velocidades [km.h⁻¹]: $45 < v < 55$ • Distância de segurança entre veículos parados: 1,50 metros • Factor aditivo e factor multiplicador: 2 • Desaceleração máxima (veículo que muda de via): -4,00 m.s⁻² • Taxa de redução (veículo que muda de via): 100 metros • Desaceleração máxima (à direita): -3 m.s⁻² • Taxa de redução (à direita): 100 metros • Distância mínima: 15 metros • Tempo mínimo de decisão: 3 segundos • Tempo de aceitação frontal e de retaguarda: 0,5 segundos
2 Velocidade máxima de 40 km.h⁻¹	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição velocidades [km.h⁻¹]: $35 < v < 45$ • Os restantes parâmetros iguais aos do cenário 1
3 Condução agressiva	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição velocidades [km.h⁻¹]: $45 < v < 55$ • Distância de segurança entre veículos parados: 0,75 metros • Factor aditivo e factor multiplicador: 1 • Desaceleração máxima (veículo que muda de via): -1,50 m.s⁻² • Taxa de redução (veículo que muda de via): 200 metros • Desaceleração máxima (à direita): -1 m.s⁻² • Taxa de redução (à direita): 150 metros • Distância mínima: 12 metros • Tempo mínimo de decisão: 2 segundos • Aceitação frontal e de retaguarda: 0,3 segundos
4 Interacção com peões	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuição velocidades [km.h⁻¹]: $1 < v < 2$ • Os restantes parâmetros iguais aos do cenário 1

De modo a obter um número estatístico significativo, foram feitas 10 simulações para cada cenário proposto, geradas de forma aleatória e cuja duração foi de 1 hora.

Relativamente aos parâmetros do SSAM, consideraram-se os valores limites de TTC e PET de 1,5 segundos e 5,0 segundos, respectivamente [49]. Para os ângulos de conflitos foi mantida a lógica das classificações dos tipos de conflitos dadas inicialmente pelo SSAM, tendo em consideração os critérios da FHWA [19] e que podem ser visualizados na Figura 56.

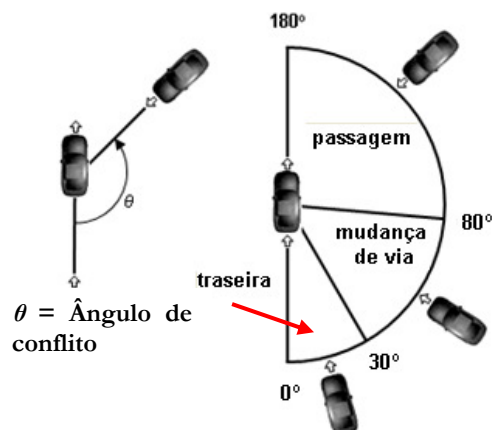


Figura 56: Visualização dos ângulos de conflito propostos para o estudo de caso [adaptado de 58]

Após terem sido efectuadas as simulações para cada cenário, os dados das trajectórias correspondentes foram processados pelo SSAM de modo a calcular as medidas representativas da segurança rodoviária. Para cada simulação, foram registados:

- Número total de conflitos;
- Número de cada tipo de conflitos;
- Média das medidas representativas da segurança rodoviária (TTC, PET, DR, MaxV e ΔV) em função do número total de conflitos e também, da tipologia dos mesmos.

5.4 Análise estatística

A análise estatística dos resultados obtidos no SSAM teve dois objectivos principais. O primeiro consistiu em determinar se as medidas representativas da segurança rodoviária obtidas no mesmo conseguiam discriminar diferentes alternativas para o mesmo cruzamento, num dado modelo de simulação. O segundo objectivo era identificar alguma correlação entre as medidas obtidas e os modelos de previsão disponíveis na literatura.

A frequência resultante e as distribuições da gravidade dos eventos de conflito ocorridos durante a simulação representam as medidas para um projecto de intersecção particular. Para avaliar a viabilidade das mesmas ao nível da segurança, foram comparados os 4 cenários propostos para os três volumes de tráfego considerados. Adicionalmente, foi implementado um projecto alternativo para o estudo de caso e recriados os 4 cenários do estudo de caso inicial.

A comparação dos conflitos e das medidas representativas de ambos os projectos foi feita recorrendo ao teste t (baseado na distribuição de *Student*) de hipótese sobre as médias, usando a ferramenta SPSS. Neste caso, e tendo em consideração que a geração dos eventos de conflitos é aleatória, as duas amostras são independentes. O valor do teste t tem um valor crítico que depende do tamanho das amostras e o nível de significância, sendo que H_0 é rejeitada para valores superiores. Adicionalmente, o nível de significância α é menor para valores superiores ao t crítico [70].

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Para a realização do teste, foi considerada para a hipótese nula (H_0), uma diferença de médias de 0 e testes bilaterais para um intervalo de confiança de 95%, nos quais H_0 foi rejeitada para um *p-value* (probabilidade da estatística do teste) menor que o nível de significância de 0,05 (5%). Quando o teste t é realizado no SPSS são fornecidos dois conjuntos de resultados: um assumindo a igualdade das variâncias, no qual é efectuado o teste de *Levene* ao nível de significância estipulado para o teste t e um outro, em que se consideram que as variâncias são diferentes. Nos casos em que o teste rejeitou a igualdade das variâncias, usou-se o segundo conjunto.

5.4.1 Comparação com os modelos de previsão de acidentes

Para além da comparação entre ambos projectos, a análise estatística comparou também as frequências de conflitos obtidas com as frequências de acidentes baseadas em modelos de previsão. Neste caso, foram usados os modelos desenvolvidos por *Turner et al.* [36] que foram estudados em diferentes tipologias de rotundas, incluindo com 5 ramos e duas vias de circulação. Segundo os autores, os acidentes em rotundas podem ser classificados segundo a sua natureza, os quais são associadas a cada ramo da mesma.

1. Acidentes entre os veículos que entram e circulam na rotunda;
2. Acidentes de retaguarda;
3. Acidentes envolvendo um único veículo;
4. “Outros” acidentes não incluídos nas tipologias anteriores;
5. Peões.

Dado que o algoritmo do SSAM apenas define eventos de conflitos entre 2 veículos, não se utilizou o modelo do tipo 3. Seguidamente são apresentadas as equações que definem os acidentes do tipo 1, 2, 4 e 5, para cada ramo da rotunda.

1 Entrada-Circulação

$$A_1 = 6,12 \times 10^{-8} \times Q_E^{0,47} \times Q_C^{0,26} \times V_C^{2,13} \quad (5.1)$$

Onde:

A_1 : Número anual de acidentes entre veículos que entram e circulam na rotunda;

Q_E : Volume de tráfego em cada ramo de entrada (veículos.dia⁻¹);

Q_C : Volume de tráfego na zona de circulação da rotunda compreendida entre a saída e a entrada do ramo (veículos.dia⁻¹);

V_C : Velocidade dos veículos na zona de circulação da rotunda compreendida entre a saída e a entrada do ramo (km.h⁻¹).

2 Retaguarda

$$A_2 = 9,63 \times 10^{-2} \times Q_E^{-0,38} \times \exp(0,00024 Q_E) \quad (5.2)$$

Onde:

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

A_2 : Número anual de acidentes de retaguarda envolvendo veículos motorizados;

Q_E : Volume de tráfego em cada ramo de entrada (veículos.dia⁻¹).

3 Outros

$$A_3 = 1,34 \times 10^{-5} \times Q_A^{0,71} \times \phi_{MEL} \quad (5.3)$$

Onde:

A_3 : Número anual de “outros” acidentes envolvendo veículos motorizados;

Q_A : Corresponde à soma de Q_E e Q_S (veículos.dia⁻¹);

Q_E : Volume de tráfego em cada ramo de entrada (veículos.dia⁻¹);

Q_S : Volume de tráfego em cada ramo de saída (veículos.dia⁻¹);

ϕ_{MEL} : Factor relacionado com o número de vias de circulação, que toma o valor 2,66 nos ramos constituídos por duas ou mais vias.

4 Peões:

$$A_4 = 3,45 \times 10^{-4} \times Q_P^{0,60} \times \exp(0,000067 Q_A) \quad (5.4)$$

Onde:

A_4 : Número anual de acidentes envolvendo peões;

Q_P : Volume de peões que cruzam o ramo através das passadeiras (peões.dia⁻¹);

Q_A : Corresponde à soma de Q_E e Q_S (veículos.dia⁻¹);

Q_E : Volume de tráfego em cada ramo de entrada (veículos.dia⁻¹);

Q_S : Volume de tráfego em cada ramo de saída (veículos.dia⁻¹).

Os valores de Q_P , Q_C , Q_S podem ser extraídos a partir das simulações efectuadas em VISSIM e cujos resultados são apresentados no Anexo C. Nas Figuras 57 e 58 podem ser visualizadas as redes nodais criadas no VISSIM para a obtenção de Q_S e Q_C .



Figura 57: Localização das redes nodais para a obtenção de Q_S [63]



Figura 58: Localização das redes nodais para a obtenção de Q_C [63]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

O parâmetro V_C diz respeito à velocidade a que circulam os condutores numa dada secção da via, sendo que o seu valor depende das características dos vários elementos rectos ou curvos que definem a estrada, sendo que existem algumas formulações desenvolvidas para a sua estimativa. A equação 5.5 traduz o método sugerido para AASHTO [71]:

$$V_C = \sqrt{127,4021R(s + f)} \quad (5.5)$$

Onde:

V_C : Velocidade de percurso (km.h^{-1});

R: Raio interior da curva horizontal (m);

s : Sobreelevação (m.m^{-1});

f : Coeficiente de fricção lateral.

Os valores de s assumem o valor de 0,02 para as curvas de entrada e saída e -0,02, nas curvas sobre a ilha central [71]. No que concerne ao coeficiente de fricção lateral, este pode ser determinado através de uma relação para curvas em diferentes tipos de intersecções, sendo que para as velocidades de 40 km.h^{-1} e 50 km.h^{-1} , o seu valor é de 0,25 e 0,19 respectivamente [71]. No Anexo D encontram-se apresentados os valores dos raios interiores das curvas horizontais referentes às zonas indicadas na Figura 58, bem como os valores de V_C respectivos.

Tendo em consideração que o nível de agressividade do condutor não é uma variável explicativa de nenhuma das equações anteriormente referidas, o cenário 3 não foi utilizado na comparação com a frequência de acidentes. Refira-se ainda, que a equação 5.4 foi aplicada apenas no cenário 4.

Comparação das ordens dos conflitos e a frequência de acidentes

Outro indicador para validação dos resultados do SSAM é correlação das medidas representativas com as frequências de acidentes previstas. Para tal, após terem sido simulados os dois projectos para os três volumes de tráfego (baixo, médio e elevado), o número de conflitos de cada tipo foi colocado numa tabela de frequências por ordem decrescente. Nos casos em que a diferença de médias não foi significativa, foi atribuída a mesma posição na tabela.

Para cada projecto, o número de acidentes baseado no modelo de previsão foi calculado e repetido para os três volumes de tráfego. Após o mesmo, foi gerada uma tabela com os valores dos acidentes ordenados da maior para a menor frequência e comparados com a ordem de conflitos feita.

A determinação do nível de concordância foi baseada no coeficiente de *Spearman*, que é um teste não-paramétrico que mede a dependência estatística entre duas variáveis. Para tal, utiliza a ordem das observações para averiguar a correlação dos dados provenientes de duas amostras [70]. Este coeficiente é expresso através da equação 5.6:

$$R_s = 1 - 6 \sum \frac{d^2}{N(N^2 - 1)} \quad (5.6)$$

Onde:

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

R_s : Coeficiente de *Spearman*;

d : Diferença entre as ordens;

N : Número de ordens emparelhadas.

O valor do coeficiente de correlação resultante é comparado com os valores críticos relativos ao tamanho da amostra e o nível de significância adequados. A determinação dos valores críticos é feita de duas formas: para $N < 30$, consulta-se a tabela das estatísticas de *Spearman*; para $N > 30$, o valor crítico do coeficiente de *Spearman* é determinado com base nos valores de z (variável aleatória normal padrão) [70]. Refira-se que os valores críticos são simétricos, sendo que podem ocorrer os seguintes casos:

- Se R_s é positivo e superior ao valor crítico positivo, existe correlação entre as ordens das amostras;
- Se R_s é negativo e menor que o valor crítico negativo, existe correlação entre as ordens das amostras;
- Se R_s estiver entre os valores críticos, não existe correlação entre as ordens das amostras;
- Se R_s é 1, a correlação é perfeitamente positiva;
- Se R_s é -1, a correlação é perfeitamente negativa [70].

5.5 Validação das unidades e filtragem dos resultados

Os modelos de previsão expressam os volumes de tráfego diários em TMDA, ou seja, em termos de Tráfego Médio Diário Anual, enquanto nos modelos de simulação, estes são expressos em veículos por hora. Para garantir uma coerência na comparação, devem ser aplicadas regras de conversão para conciliar os dois termos, sendo que se considerou que o volume horário de veículos num dado ramo, corresponde a 10% do TMDA para o mesmo, conforme apresentado na equação 5.7 [72]:

$$TMDA = 10VH \quad (5.7)$$

Onde:

$TMDA$: Tráfego Médio Diário Anual (veículos.dia⁻¹);

VH : Volume Horário numa dada direcção (veículos.hora⁻¹).

Em cada modelo de simulação, algumas situações resultam em colisões “virtuais” que são consequência de uma representação imprecisa de uma manobra específica (ver Figura 59). Este facto não é frequente, porém os dados são analisados pelo SSAM a uma escala microscópica, sendo que essas imprecisões são identificadas pelo mesmo através de $TTC=0$ (“colisão”). De modo a não influenciar os resultados, todos os conflitos com TTC de 0 segundos foram removidos.

Para além disso, no âmbito do VISSIM, os peões são considerados como tipos de veículos, sendo que uma interacção entre 2 peões é passível de ser classificada por parte do

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

SSAM como conflitos. Face a isso, foram considerados apenas os conflitos com $\text{MaxV} \geq 2 \text{ km.h}^{-1}$ ($0,55 \text{ m.s}^{-1}$) no caso do cenário 4.

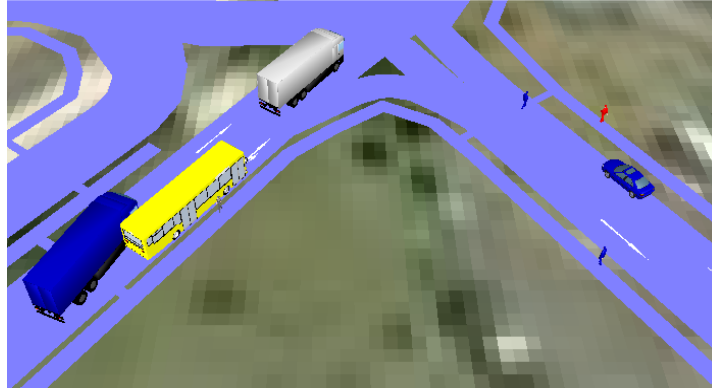


Figura 59: Exemplo de uma representação imprecisa no VISSIM [63]

6. Resultados e sua discussão

Os resultados obtidos no SSAM são apresentados neste capítulo, bem como a discussão dos mesmos.

6.1 Comparação dos 4 cenários propostos para o estudo de caso

Nesta secção são comparadas as tipologias de conflitos e as médias das medidas representativas da segurança rodoviária (TTC, PET, MaxV, ΔV e DR) entre os 4 cenários propostos, nos três volumes de tráfego seleccionados e ainda, a localização dos conflitos no mapa do estudo de caso.

6.1.1 Volume de tráfego baixo

No Quadro 9 são apresentados os valores das medidas representativas por cada tipo de conflito, excepto as colisões virtuais (TTC=0) e os eventos com $\text{MaxV} \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$, para um volume de tráfego baixo. Os valores dos conflitos correspondem à média das 10 simulações. Nas Tabelas E.1 a E.4 encontram-se expostas as frequências de conflitos obtidas em cada simulação.

Quadro 9: Média das medidas representativas da segurança rodoviária em função da tipologia de conflitos no período entre as 6:00h-7:00h

Cenário	Tipo de conflito	Média de Conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
1	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,3	0,5	0,2	15,8	2,9	-0,09
	Mudança de via	0	—	—	—	—	—
	Total de conflitos	0,3	0,4	0,2	15,8	2,9	-0,09
2	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,3	0,3	0,6	12,1	2,6	-0,08
	Mudança de via	0	—	—	—	—	—
	Total de conflitos	0,3	0,3	0,6	12,1	2,6	-0,08
3	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,5	0,4	0,4	15,5	2,7	-0,06
	Mudança de via	0	—	—	—	—	—
	Total de conflitos	0,5	0,4	0,4	15,5	2,7	-0,06
4	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,6	0,8	0,5	15,1	2,7	-0,03
	Mudança de via	0,1	0,5	0,2	14,8	11,6	-0,02
	Total de conflitos	0,7	0,7	0,5	15,1	4,0	-0,03

O número total de conflitos não sofreu alterações para uma velocidade limite de 40 km.h⁻¹. No entanto, a gravidade das colisões potenciais diminuiu, nomeadamente a medida MaxV, que sofreu uma redução de 23%. A menor velocidade a que circulam os veículos é a

causa para esta diminuição. A condução mais agressiva do condutor resultou num aumento do número total de conflitos em 67%, facto expectável, pois a distância de segurança e os tempos de aceitação para uma dada acção eram menores. Neste cenário, a gravidade das colisões potenciais diminuiu ao nível das três medidas representativas da mesma. A introdução dos peões no estudo de caso fez aumentar o número total de conflitos em 133%, face ao cenário 1. Neste caso, foram registados conflitos de retaguarda e um conflito de mudança de via, sendo que estes últimos denotaram uma maior probabilidade na ocorrência de colisões nos quais se registaram valores médios do TTC e PET de 0,5 e 0,2 segundos, respectivamente. Em termos de gravidade, as medidas MaxV e DR foram mais elevadas nos conflitos de retaguarda, porém, ΔV foi mais significativa no conflito de mudança de via, no qual se obteve um valor médio de 11,6 m.s⁻¹.

Em termos globais, o número de conflitos aumentou em relação ao cenário 1, excepto para uma velocidade máxima de 40 km.h⁻¹. No que concerne à probabilidade de colisões, não foi possível discernir qual o cenário pior. Os menores valores médios de TTC e PET foram obtidos nos cenários 2 e 1, respectivamente. No caso da gravidade das colisões, o cenário 2 foi o pior, no qual foram obtidos os três valores absolutos mais elevados de MaxV, ΔV e DR.

Nas Figuras 60 a 63 é ilustrada a localização dos conflitos no estudo de caso referentes às 10 simulações efectuadas. A maior concentração dos mesmos foi verificada ao longo do ramo 4 no sentido da rotunda, nomeadamente na aproximação à zona de redução de velocidade. Este facto está relacionado com a modelação de rede gráfica feita no VISSIM. Por defeito, os veículos que entram na rede circulam em torno dos 50 km.h⁻¹, ou a 40 km.h⁻¹, no caso particular do cenário 2, e até à abordagem da referida zona, não existe nenhum obstáculo que leve a uma variação de velocidade. Quando um veículo se aproxima da mesma, desacelera e o precedente tem de efectuar uma travagem para não colidir originando, desta forma conflitos. No sentido contrário, a maior parte dos veículos não atingiu a velocidade desejada, pois circula a uma velocidade teórica menor devido à circulação da rotunda e respectiva saída [46] e a distância entre esta última e a zona de redução de velocidade é pequena.

No caso particular do cenário 4, o aumento do número de conflitos não foi devido à introdução dos peões na simulação, pois a concentração de conflitos foi verificada na zona de redução de velocidade que se situa entre as duas passadeiras do ramo 4 e o conflito de mudança de via foi localizado na zona de intersecção do ramo 5 com a rotunda.

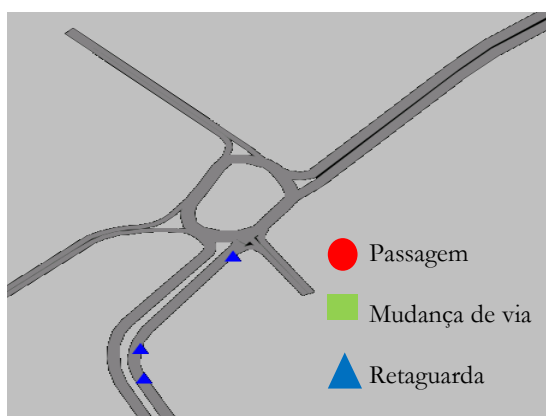


Figura 60: Localização dos conflitos no cenário 1, para um volume de tráfego baixo

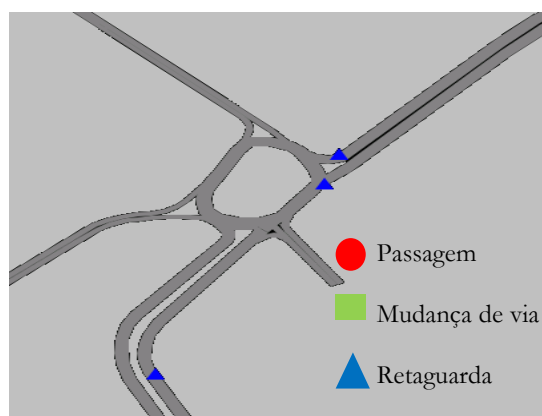


Figura 61: Localização dos conflitos no cenário 2, para um volume de tráfego baixo

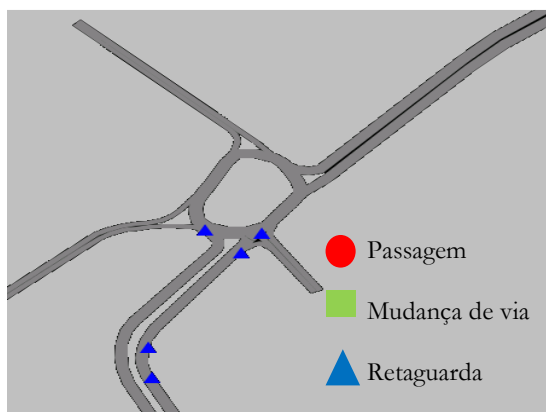


Figura 62: Localização dos conflitos no cenário 3, para um volume de tráfego baixo

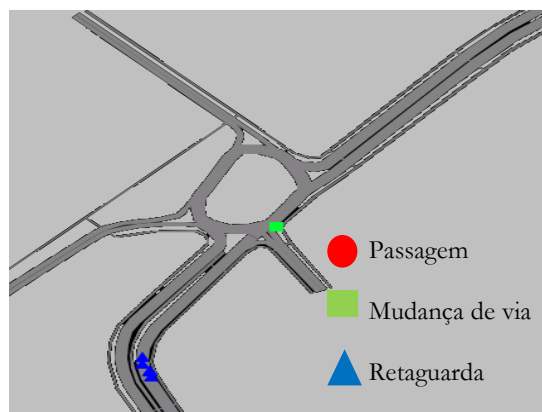


Figura 63: Localização dos conflitos no cenário 4, para um volume de tráfego baixo

6.1.2 Volume de tráfego médio

No Quadro 10 são apresentados os valores das medidas representativas por cada tipo de conflito, excepto as colisões virtuais ($TTC=0$) e os eventos com $MaxV \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$, para um volume médio de tráfego. Os valores dos conflitos correspondem à média das 10 simulações. Nas Tabelas E.1 a E.4 encontram-se expostas as frequências de conflitos obtidas em cada simulação.

Quadro 10: Média das medidas representativas da segurança rodoviária em função da tipologia de conflitos no período entre as 10:00h-11:00h

Cenário	Tipo de conflito	Média de conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s^{-1}]	ΔV [m.s^{-1}]	DR [m.s^{-2}]
1	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	22,1	0,6	0,7	12,7	3,3	-0,7
	Mudança de via	8,0	0,8	1,3	9,3	7,2	-2,0
	Total de conflitos	30,1	0,6	0,9	11,8	4,3	-1,0
2	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	24,1	0,5	0,8	10,8	2,9	-0,7
	Mudança de via	10,8	1,0	1,4	8,0	6,5	-1,6
	Total de conflitos	34,9	0,7	0,9	9,9	4,0	-1,0
3	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	25,4	0,6	0,7	12,5	3,3	-0,8
	Mudança de via	14,2	1,0	1,1	8,3	6,1	-2,1
	Total de conflitos	39,6	0,8	0,8	11,0	4,3	-1,3
4	Passagem	5,3	0,6	1,1	10,1	9,8	-0,6
	Retaguarda	56,4	0,8	1,6	9,3	3,7	-1,3
	Mudança de via	15,5	1,1	1,7	7,6	6,0	-1,9
	Total de conflitos	77,2	0,9	1,6	9,1	4,6	-1,4

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Para o cenário 1, observaram-se 30,1 conflitos por cada simulação gerada, sendo que os de tipologia de retaguarda corresponderam a 73% dos casos. A probabilidade na ocorrência de colisões foi maior neste tipo de conflitos, nos quais se registaram os menores valores médios de TTC e PET.

A diminuição da velocidade limite para 40 km.h^{-1} resultou num aumento do número total de conflitos em 15%. Tal como no cenário anterior, os de retaguarda foram mais predominantes e com maior probabilidade de colisão. No entanto, verificou-se uma redução de 16% e 8% dos valores médios de MaxV e ΔV do cenário 2 em relação aos mesmos indicadores obtidos no cenário 1.

No que concerne à condução mais agressiva do condutor, os conflitos aumentaram 31%, face ao cenário 1. O aumento foi mais significativo nos conflitos de mudança de via, com uma variação de 78%. A probabilidade na ocorrência de colisões nos conflitos de retaguarda foi mais elevada, nos quais se obtiveram valores médios do TTC e PET de 0,6 e 0,7 segundos, respectivamente.

Em termos da gravidade das colisões potenciais, nenhuma das tipologias de conflitos identificadas nos 3 cenários se revelou como mais favorável, pois as de retaguarda resultaram em valores médios mais elevados de MaxV e as de mudança de via, foram mais graves ao nível de ΔV e DR.

A introdução dos peões no estudo de caso fez aumentar o número total de conflitos em 155%, em relação ao caso inicial. Neste cenário, a probabilidade de colisões foi mais elevada nos conflitos de passagem, tendo sido obtidos valores médios de TTC e PET de 0,6 e 1,1 segundos, respectivamente. Em termos da gravidade das colisões, MaxV e DR foram mais elevados nos conflitos de passagem e DR, nos conflitos de mudança de via, sendo que não foi possível averiguar qual das tipologias de conflitos foi pior.

Em termos globais, a menor e maior frequência de conflitos corresponderam ao cenário 1 e 4, respectivamente. A menor probabilidade na ocorrência de colisões foi verificada no cenário 4. Todavia, os indicadores TTC e PET não relevaram qual o cenário pior, pois os seus menores valores médios foram obtidos para uma velocidade limite de 50 km.h^{-1} e uma condução mais agressiva do condutor, respectivamente. Refira-se ainda, os valores elevados de DR (em termos absolutos) no cenário 3, que resultaram do parâmetro relativo ao aumento da Taxa de Redução (TR) para os veículos que efectuaram uma mudança de via.

Nas Figuras 64 a 67 representam-se os conflitos no estudo de caso, referentes às 10 simulações efectuadas. A maior concentração de conflitos foi verificada nas intersecções entre a rotunda e os ramos, nomeadamente entre o 5 e 4 e também, na zona de redução de velocidade deste último ramo, para quem circula no sentido da rotunda. A elevada concentração nos conflitos de mudança de via nos ramais de entrada da rotunda justifica os elevados valores de ΔV obtidos para esta tipologia de conflitos em todos os cenários. Quando um veículo se aproxima da rotunda e o condutor se apercebe que não existe um fluxo livre na rotunda, efectua uma travagem para não colidir. Tendo em consideração que o algoritmo do SSAM determina a diferença máxima de velocidades, é expectável que o veículo que aborda a rotunda esteja a uma velocidade bastante mais baixa em relação ao veículo que circula na mesma.

Apesar de se verificar uma elevada concentração dos conflitos de mudança de via nos ramos constituídos por 2 vias, identificaram-se alguns destes eventos no ramo 3, devido à

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

existência de uma curva a poucos metros da linha de cedência de passagem que implica posições angulares entre os veículos superiores a 30° .

A concentração de conflitos envolvendo peões cinge-se às passadeiras existentes, sendo que o algoritmo do SSAM identificou os mesmos como conflitos de passagem. Neste caso, a posição dos veículos em relação aos peões é próxima de 90° , tendo em consideração que as passadeiras se situam perpendicularmente à via. Por esse facto, os conflitos de passagem do cenário 4 apresentaram o maior valor médio de ΔV (ver Quadro 10) devido à diferença de velocidades entre os veículos e os peões. No entanto, nem todos os conflitos de passagem envolveram peões, pois verificaram-se algumas destas interações na intersecção da via segregada com o ramo 5, devido ao pequeno ângulo de viragem da mesma.

Na Figura 67 é possível visualizar ainda uma grande frequência de conflitos de retaguarda existentes nas zonas próximas das passadeiras, nomeadamente nos ramos 1 e 4. Este facto resultou da introdução dos peões na rede gráfica, pois os veículos efectuaram travagens e paragens (quando necessário) no momento em que visualizaram um peão a atravessar a passadeira.

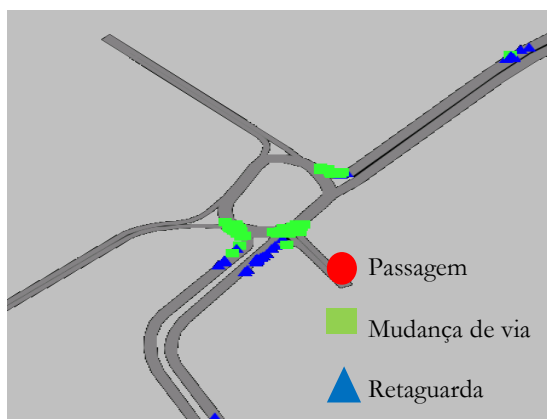


Figura 64: Localização dos conflitos no cenário 1, para um volume de tráfego médio

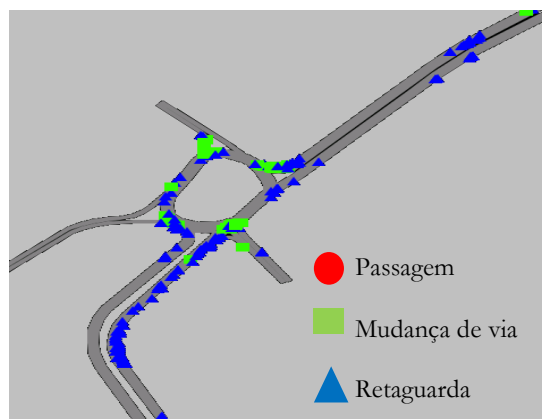


Figura 65: Localização dos conflitos no cenário 2, para um volume de tráfego médio

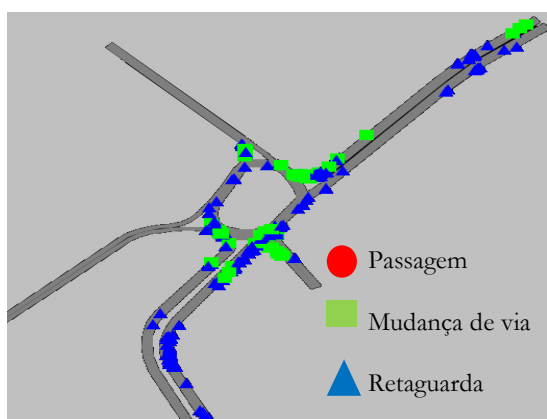


Figura 66: Localização dos conflitos no cenário 3, para um volume de tráfego médio

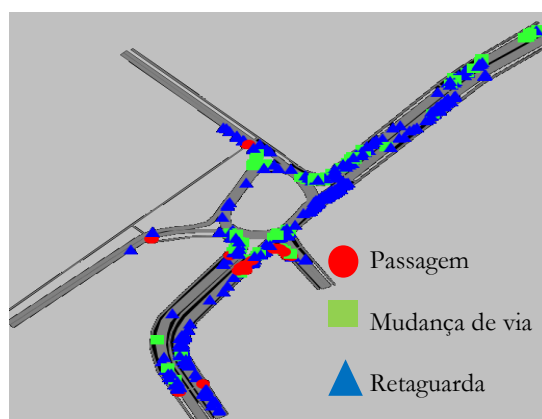


Figura 67: Localização dos conflitos no cenário 4, para um volume de tráfego médio

6.1.3 Volume de tráfego elevado

No Quadro 11 são apresentados os valores das medidas representativas por cada tipo de conflito, excepto as colisões virtuais ($TTC=0$) e os eventos com $MaxV \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$, para um volume de tráfego elevado. Os valores dos conflitos correspondem à média das 10 simulações. Nas Tabelas E.1 a E.4 encontram-se expostas as frequências de conflitos obtidas em cada simulação.

Quadro 11: Média das medidas representativas da segurança rodoviária em função da tipologia de conflitos no período entre as 17:00h-18:00h

Cenário	Tipo de conflito	Média de conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
1	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	48,1	0,7	1,1	11,5	3,8	-1,3
	Mudança de via	24,8	1,0	1,5	8,3	6,3	-1,9
	Total de conflitos	72,9	0,8	1,2	10,4	4,7	-1,5
2	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	52,0	0,7	1,2	9,5	3,2	-1,1
	Mudança de via	30,2	1,1	1,6	7,1	5,8	-1,7
	Total de conflitos	82,2	0,8	1,3	8,6	4,2	-1,3
3	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	52,0	0,8	1,0	10,70	3,9	-1,3
	Mudança de via	37,9	1,0	1,2	8,0	6,3	-2,1
	Total de conflitos	89,9	0,9	1,1	9,6	4,9	-1,6
4	Passagem	3,2	0,6	1,1	10,9	10,6	-0,6
	Retaguarda	102,7	0,9	1,8	8,6	3,9	-1,7
	Mudança de via	37,0	1,1	1,6	7,5	5,9	-1,9
	Total de conflitos	142,9	1,0	1,7	8,4	4,6	-1,7

No cenário 1 foi observada uma média de 72,9 conflitos por cada simulação gerada, sendo que os de tipologia de retaguarda foram os mais predominantes. A probabilidade na ocorrência de colisões foi maior neste tipo de conflitos, nos quais se registaram valores médios do TTC e PET de 0,7 e 1,1 segundos, respectivamente.

Para uma velocidade limite de 40 km.h^{-1} , o número total de conflitos aumentou em 13%, face ao cenário anterior. Neste caso, os conflitos de retaguarda foram mais graves, nos quais foram obtidos os menores valores médios de PET e TTC, no entanto, não houve uma tipologia favorável em termos de gravidade das colisões potenciais. A diminuição do valor de DR em 13% indica que os condutores efectuaram travagens mais suaves.

No que concerne à condução agressiva, o seu efeito cifrou-se num aumento em 23% do número total de conflitos. Esta variação foi mais sensível nos conflitos de mudança de via, com 52%. A gravidade dos conflitos de retaguarda foi mais elevada, no qual se obtiveram

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

valores médios do TTC e PET de 0,8 e 1,0 segundos, respectivamente. Neste cenário e à semelhança do verificado no período entre as 10:00h-11:00h, obtiveram-se valores elevados de DR, nomeadamente nos conflitos de mudança de via.

A introdução dos peões fez aumentar o número total de conflitos em 96%, em relação ao caso inicial. Os conflitos de passagem foram os mais graves ao nível dos indicadores TTC e PET. Em termos da gravidade das potenciais colisões, não houve uma tipologia favorável, pois MaxV e ΔV foram mais elevados nos conflitos de passagem e DR foi mais elevado nos conflitos de mudança de via.

Em termos globais, a menor e maior frequência de conflitos corresponderam aos cenários 1 e 4. No que diz respeito à gravidade e probabilidade das colisões, não foi possível averiguar qual o cenário pior. No entanto, verificou-se uma certa semelhança dos valores dos indicadores de gravidade da potencial colisão em relação aos volumes de tráfego médio e baixo, ou seja, MaxV foi maior nos conflitos de retaguarda, enquanto DR e ΔV foram mais elevados nos conflitos de mudança de via, pelos motivos já explicados anteriormente. Finalmente, os conflitos do cenário 2 denotaram a menor gravidade das colisões potenciais, devido aos seus menores valores de MaxV, ΔV e DR.

Nas Figuras 68 a 71 são localizados os conflitos no estudo de caso, referentes às 10 simulações efectuadas. A concentração dos mesmos foi elevada em todas as intersecções da rotunda, nomeadamente entre os ramos 4 e 5, e também na via segregada de viragem à direita. A zona de redução do ramo 4 foi também foco de conflitos, porém e devido aos maiores volumes de tráfego, também se registaram alguns conflitos no sentido contrário. Foram identificados alguns conflitos de retaguarda no ramo 5 devido à presença da cancela para sair do hospital, que obriga os veículos a efectuar uma paragem obrigatória. Refira-se que a maioria dos conflitos de retaguarda foi identificada nas zonas de circulação dos ramos nas quais os veículos circulam a velocidades mais elevadas, daí apresentarem valores mais elevados de MaxV. A influência das paragens de autocarros foi mais sensível no ramo 1 do que no ramo 4, pois no primeiro, os veículos circulam em torno da velocidade máxima e a paragem situa-se próxima da zona de entrada da rede gráfica, o que não se verifica no segundo ramo, cujas paragens estão mais distantes da mesma. Tal como no período entre as 10:00h-11:00h, os conflitos de passagem do cenário 4 registaram o maior valor médio de ΔV , pois a sua maioria resultou de conflitos envolvendo peões e veículos.

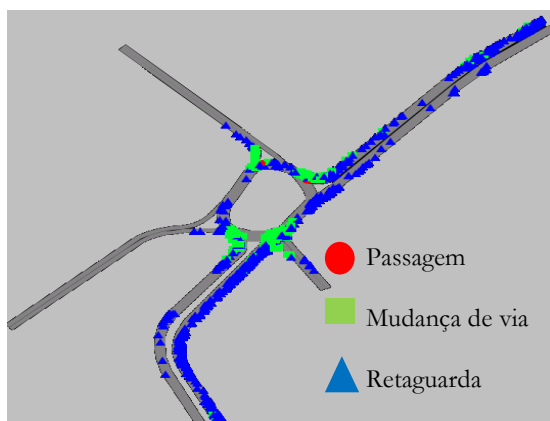


Figura 68: Localização dos conflitos no cenário 1, para um volume de tráfego elevado

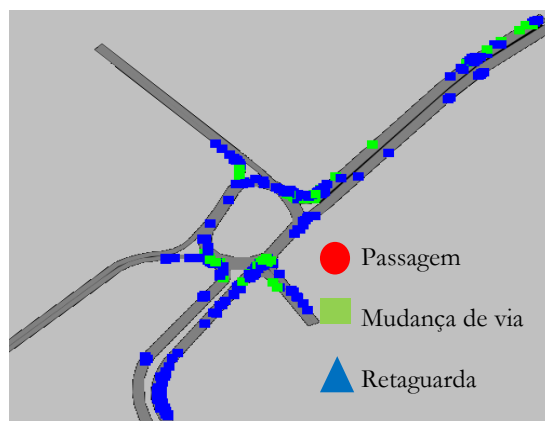


Figura 69: Localização dos conflitos no cenário 2, para um volume de tráfego elevado

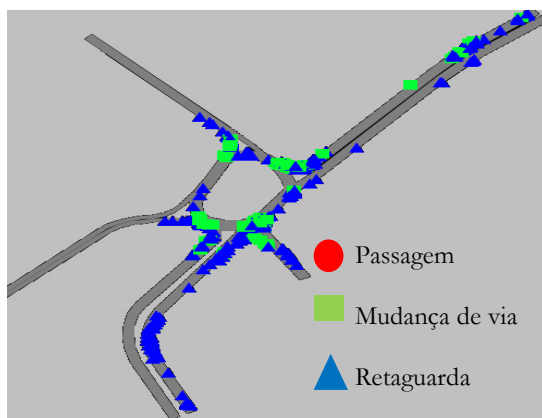


Figura 70: Localização dos conflitos no cenário 3, para um volume de tráfego elevado

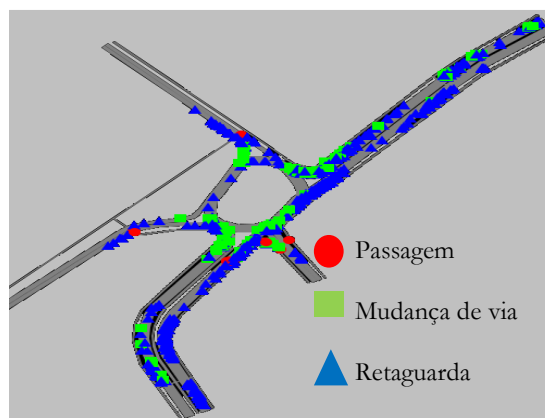


Figura 71: Localização dos conflitos no cenário 4, para um volume de tráfego elevado

6.2 Projecto alternativo

Nesta secção foi implementada uma nova rotunda para o local de análise e comparados os resultados em termos de conflitos e medidas representativas da segurança rodoviária com os obtidos para o estudo de caso.

A distância entre os ramos 4 e 5 da rotunda existente é de aproximadamente 13 metros [64] sendo inferior a 20 metros, valor mínimo aceitável em termos de operação e segurança da instalação rodoviária [69]. Para além disso, a zona de entrada do ramo 4 é caracterizada pela ausência de deflexão, levando os veículos a não reduzirem a velocidade quando abordam a rotunda. Tendo em consideração estes factores, definiu-se uma nova rotunda de 5 ramos com duas vias de circulação constituída por 2 semicírculos com Diâmetro do Círculo Inscrito (DCI) de 48,6 metros, raio da ilha central de 13 metros e uma zona de circulação recta de 20 metros, conforme pode ser visualizado na Figura 72. Em termos de concepção dos seus elementos geométricos, foram considerados os critérios de dimensionamento de rotundas em Portugal propostos por Silva e Seco [69].



Figura 72: Concepção geométrica da rotunda do projecto alternativo [64]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Dado se tratar de uma configuração geométrica inserida num meio urbano, foram tidos em consideração os aspectos relacionados com a topografia do local, ou seja, a nova rede viária usa apenas os espaços relativos aos parques de estacionamento que existem na sua envolvente. Os ramos 2,3 e 5 foram mantidos com uma via de circulação em cada sentido, devido às limitações do espaço urbano. Foram respeitados os raios de entrada e saída dos ramos da rotunda, bem como as larguras de entrada e de saída dos mesmos. No caso particular dos ramos de uma via, aumentou-se a sua largura de entrada de modo a escoar o tráfego num eventual acidente.

Face à ausência de deflexão dos movimentos na entrada da rotunda a partir do ramo 4, foi deslocalizado o referido ramo para a esquerda e aumentado o raio de entrada do mesmo. Desta forma, reduziu-se o raio da curva localizado antes da rotunda, aumentando a visibilidade dos veículos que abordam o referido ramo, no entanto, tendo em consideração o diâmetro da rotunda, a distância entre os ramos 3 e 4 foi cerca de 15 metros.

No que concerne às paragens de autocarros existentes nos ramos 1 e 4, foram mantidas nos mesmos locais do estudo de caso, sendo que se colocaram as passeadeiras antes dos mesmos, de modo a manter as condições de visibilidade dos peões quando atravessam as referidas vias. As restantes passeadeiras colocaram-se a 15 metros do limite da linha de cedência dos ramos [69]. Definiu-se ainda, uma largura dos passeios de 2,5 metros, de modo a respeitar as necessidades relacionadas com as pessoas de mobilidade condicionada [73].

Por último, foram colocados semáforos nas passeadeiras dos ramos 1 e 4 que se encontram mais distantes da rotunda. Os tempos dos mesmos são apresentados no Quadro 12 e resultaram de medições efectuadas em semáforos situados próximos da rotunda. No entanto para o período entre 17:00h-18:00h, inseriu-se um tempo de sinal menor para o semáforo verde e vermelho, de modo a não congestionar o tráfego vindo da rotunda. Refira-se que o tempo do sinal verde nos peões é suficiente para garantir a travessia dos mesmos, tendo em consideração a sua velocidade média de $1,5 \text{ km.h}^{-1}$ ($0,43 \text{ m.s}^{-1}$) e a largura da faixa de rodagem de 3,20 metros, correspondendo a um tempo de atravessamento de 7,4 segundos [64].

Quadro 12: Tempos de monitorização dos sinais, inseridos na simulação para a modelação dos semáforos

Período	Semáforo	Verde [s]	Amarelo [s]	Vermelho [s]
6:00h-7:00h e 10:00h-11:00h	Veículos	40	5	40
	Peões	30	—	55
17:00h-18:00h	Veículos	30	5	30
	Peões	20	—	45

Na Figura 73, pode ser visualizada a modelação da rede gráfica para o projecto alternativo no VISSIM, com as paragens para os autocarros, passeadeiras e ainda, as zonas em que foram colocados semáforos. Os parâmetros simulação para os 4 cenários foram iguais aos do estudo de caso inicial, conforme apresentado no Quadro 8. Refira-se que o SSAM reconhece conflitos entre peões e veículos apesar da existência do semáforo, pois o seu critério de identificação cinge-se ao TTC mínimo de 1,5 segundos, sendo que estes conflitos foram excluídos dos seguintes quadros, através da filtragem dos conectores (“connectors”) relativos às passeadeiras semaforizadas.

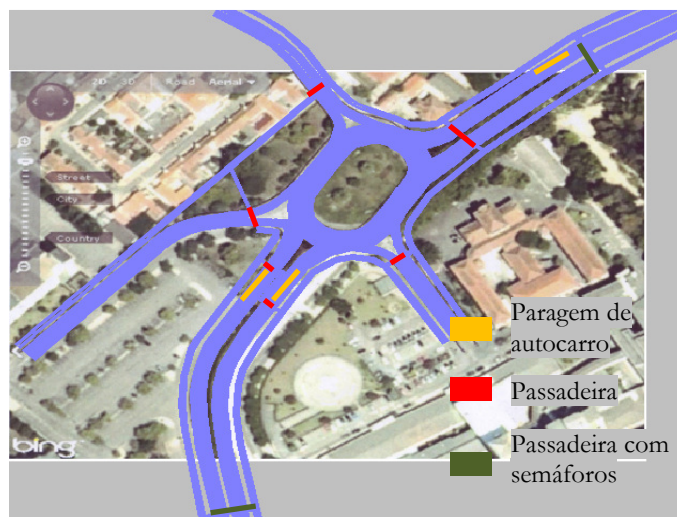


Figura 73: Modelação do projecto alternativo no VISSIM [64]

6.2.1 Volume de tráfego baixo

No Quadro 13 são apresentados os valores das medidas representativas por cada tipo de conflito, excepto para as colisões virtuais ($TTC=0$), eventos com $MaxV \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$ e ainda os conectores (“connectors”) relativos às passadeiras semaforizadas, para um volume de tráfego baixo. Os valores são referentes à média das 10 simulações. Nas Tabelas E.5 a E.8 encontram-se expostas as frequências de conflitos obtidas em cada simulação.

Quadro 13: Média das medidas representativas da segurança para o projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo

Cenário	Tipo de conflito	Média de conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s^{-1}]	ΔV [m.s^{-1}]	DR [m.s^{-2}]
1	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,5	0,5	0,4	15,4	1,2	-0,02
	Mudança de via	0	—	—	—	—	—
	Total de conflitos	0,5	0,5	0,4	15,4	1,2	-0,02
2	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,2	0,1	0,6	12,6	0,7	-0,2
	Mudança de via	0,1	1,1	0,2	12,0	7,8	-0,4
	Total de conflitos	0,3	0,4	0,5	12,4	3,1	-0,3
3	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,4	0,4	0,5	15,3	1,2	-0,04
	Mudança de via	0	—	—	—	—	—
	Total de conflitos	0,4	0,4	0,5	15,3	1,2	-0,04
4	Passagem	0	—	—	—	—	—
	Retaguarda	0,6	0,9	0,8	10,0	4,5	-0,3
	Mudança de via	0	—	—	—	—	—
	Total de conflitos	0,6	0,9	0,8	10,0	4,5	-0,3

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Para o cenário alternativo, verificou-se uma redução da média de conflitos em 40% e 20% nos cenários 2 e 3, respectivamente. No cenário 4, os conflitos aumentaram 20%, no entanto, não foram identificados conflitos de passagem. Não se verificou um padrão favorável no que concerne à gravidade e probabilidade de colisões, sendo que os menores valores médios de TTC e PET obtiveram-se nos cenários 3 e 1, respectivamente. O cenário 1 foi mais grave em termos de MaxV, no qual se obteve um valor médio de $15,4 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto que no cenário 4, registaram-se maiores valores de ΔV e DR, com $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ e $-0,3 \text{ m.s}^{-2}$, respectivamente.

No entanto, a probabilidade das colisões foi menor no cenário 4, no qual foram obtidos os maiores valores médios de TTC e PET, com 0,9 e 0,8 segundos, respectivamente.

No que concerne à localização e conforme pode ser visualizado nas Figuras 74 a 77, o ramo 4 foi o principal foco de conflitos, nomeadamente na curva existente no mesmo. A presença dos semáforos não teve grande influência para o período entre as 6:00h-7:00h, tendo apenas sido localizado um conflito de retaguarda antes da passadeira semaforizada do ramo 4.

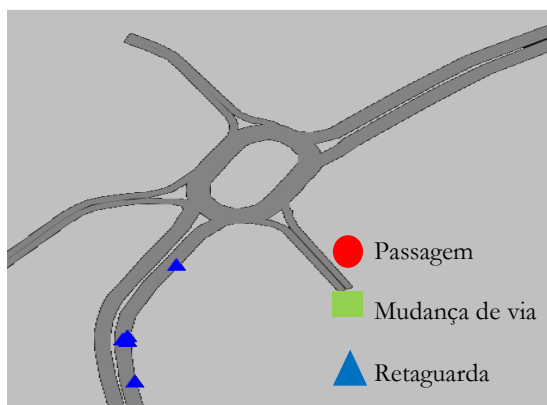


Figura 74: Localização dos conflitos no cenário 1 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo

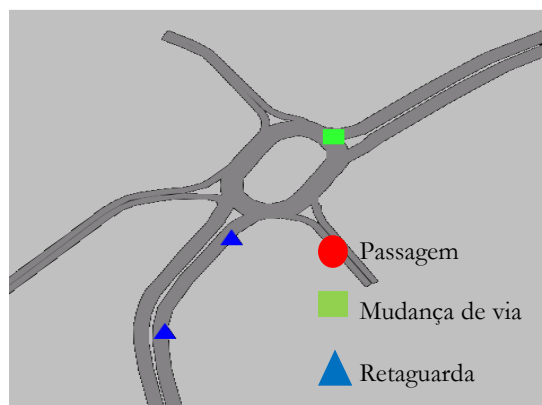


Figura 75: Localização dos conflitos no cenário 2 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo

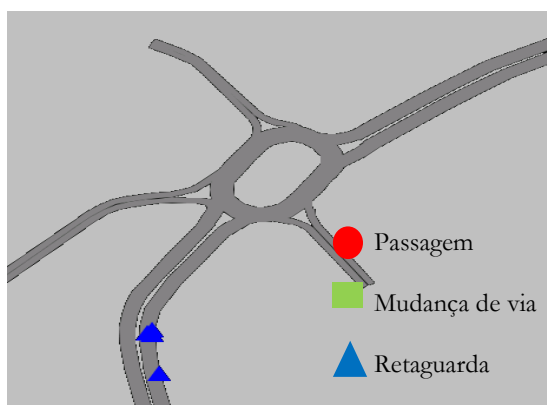


Figura 76: Localização dos conflitos no cenário 3 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo

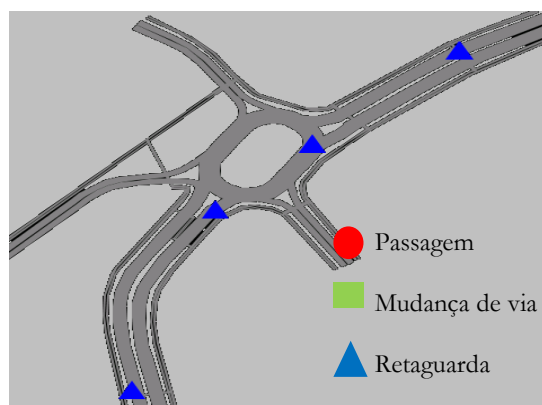


Figura 77: Localização dos conflitos no cenário 4 do projecto alternativo, para um volume de tráfego baixo

6.2.2 Volume de tráfego médio

No Quadro 14 são apresentados os valores das medidas representativas por cada tipo de conflito, excepto para as colisões virtuais ($TTC=0$), os eventos com $MaxV \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$ e ainda os conectores (“connectors”) relativos às passadeiras semaforizadas, para um volume de tráfego médio. Nas Tabelas E.5 a E.8 encontram-se expostas as frequências de conflitos obtidas em cada simulação.

Quadro 14: Média das medidas representativas da segurança para o projecto alternativo, para um volume de tráfego médio

Cenário	Tipo de conflito	Média de conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
1	Passagem	0,4	0,5	0,8	13,9	14,9	-1,2
	Retaguarda	18,8	0,7	1,2	10,7	5,0	-1,4
	Mudança de via	4,3	1,1	1,4	9,6	7,8	-2,0
	Total de conflitos	23,5	0,7	1,3	10,5	5,7	-1,6
2	Passagem	0,3	0,5	1,1	11,9	13,9	-1,6
	Retaguarda	24,9	0,7	1,3	9,3	4,1	-1,4
	Mudança de via	5,6	1,0	1,6	7,7	6,4	-1,8
	Total de conflitos	30,8	0,7	1,3	9,0	4,6	-1,5
3	Passagem	0,6	0,4	0,4	14,3	14,8	-0,4
	Retaguarda	22,1	0,7	0,9	10,3	4,3	-1,5
	Mudança de via	7,2	1,1	1,3	7,2	5,6	-2,9
	Total de conflitos	29,9	0,8	1,0	9,6	4,9	-1,8
4	Passagem	4,8	0,8	1,5	10,4	10,9	-0,8
	Retaguarda	66,8	1,0	1,9	7,7	4,0	-1,7
	Mudança de via	10,7	1,1	1,8	7,4	5,5	-2,1
	Total de conflitos	82,3	1,0	1,9	7,9	4,7	-1,7

Para o período entre as 10:00h-11:00, o número de conflitos, em relação ao cenário inicial, aumentou 31%, 27% e 250% para os cenários 2,3 e 4, respectivamente. Em todos os cenários, os conflitos de passagem foram os mais graves, sendo que na condução mais agressiva do condutor foram obtidos os menores valores médios de TTC e PET, com 0,4 segundos em ambas as medidas. Adicionalmente, verificaram-se no cenário 3, valores próximos dos 50 km.h⁻¹ das medidas MaxV e ΔV para esta tipologia de conflitos.

Nenhuma das tipologias de conflitos identificadas nos 4 cenários se relevou mais favorável em termos da gravidade das colisões potenciais, pois as medidas MaxV e ΔV foram mais elevadas no cenário 1 e DR foi mais elevada no cenário 3. Refira-se ainda, o valor de DR nos conflitos de mudança de via neste último cenário que resultou do aumento do parâmetro relativo a TR. Os conflitos menos graves foram registados no cenário 4, com valores médios do TTC e PET de 1,0 e 1,9 segundos, respectivamente. Todavia, não foi possível averiguar qual o cenário a que corresponderam os conflitos mais graves, pois os menores TTC e PET

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

obtiveram-se nos cenários 2 e 3. Finalmente, no cenário 2 verificou-se uma diminuição da medida MaxV, o que seria esperado, face à menor velocidade de circulação por parte dos veículos.

Nas Figuras 78 a 81 são localizados os conflitos no estudo de caso, referentes às 10 simulações efectuadas. A maior concentração dos mesmos foi verificada nas intersecções dos ramos 4 e 1 com a rotunda. Devido à existência de paragens de autocarros no período entre as 10:00h-11:00h, verificaram-se conflitos de retaguarda nas zonas próximas dos mesmos. A zona compreendida entre os ramos 3 e 4 foi também foco de conflitos de passagem, devido ao pequeno ângulo de viragem. A presença dos semáforos originou conflitos de retaguarda, nomeadamente quando o sinal do mesmo é vermelho e obrigou os veículos a parar.

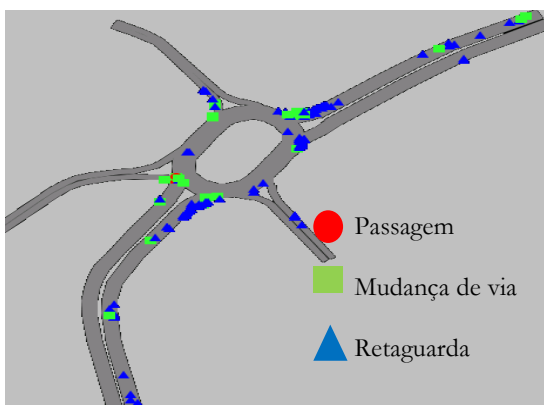


Figura 78: Localização dos conflitos no cenário 1 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio

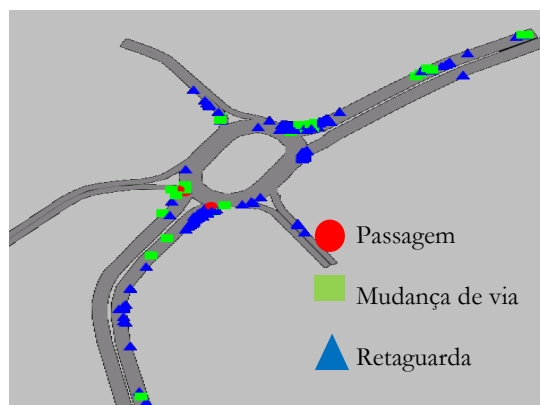


Figura 79: Localização dos conflitos no cenário 2 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio

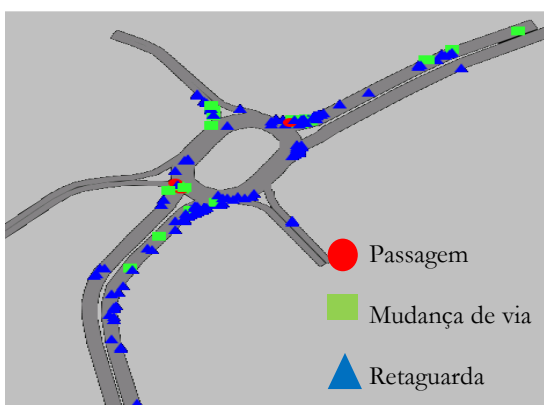


Figura 80: Localização dos conflitos no cenário 3 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio

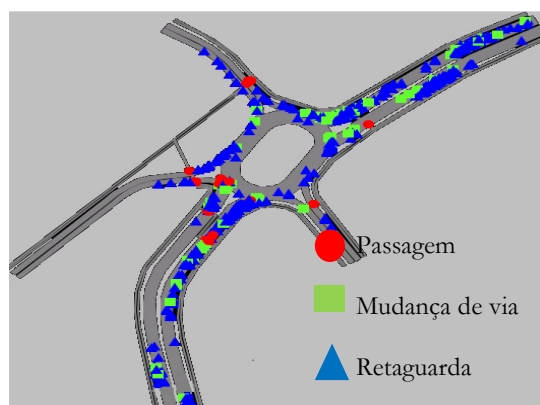


Figura 81: Localização dos conflitos no cenário 4 do projecto alternativo, para um volume de tráfego médio

6.2.3 Volume de tráfego elevado

Finalmente no Quadro 15 são apresentados os valores das medidas representativas por cada tipo de conflito, excepto para as colisões virtuais ($TTC=0$), eventos com $MaxV \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$ e ainda os conectores (“connectors”) relativos às passadeiras semaforizadas no período de maior volume de tráfego, para o projecto alternativo. Nas Tabelas E.5 a E.8 encontram-se expostas as frequências de conflitos obtidas em cada simulação.

Quadro 15: Média das medidas representativas da segurança para o projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado

Cenário	Tipo de conflito	Média de conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
1	Passagem	1,1	0,3	0,4	14,6	14,4	-1,8
	Retaguarda	54,1	0,9	1,7	8,5	4,6	-1,8
	Mudança de via	18,0	1,0	1,6	7,7	6,3	-2,1
	Total de conflitos	73,2	0,9	1,7	8,4	5,2	-1,9
2	Passagem	1,1	0,4	0,9	11,5	14,7	-1,1
	Retaguarda	65,7	0,8	1,7	7,5	4,2	-1,8
	Mudança de via	19,2	1,0	1,7	7,1	6,2	-2,3
	Total de conflitos	86,0	0,9	1,7	7,5	4,8	-1,9
3	Passagem	1,1	0,5	0,7	14,9	14,7	-2,0
	Retaguarda	65,5	0,9	1,4	8,0	4,4	-1,9
	Mudança de via	24,3	1,0	1,3	7,4	6,0	-2,4
	Total de conflitos	90,9	0,9	1,4	7,9	5,0	-2,0
4	Passagem	6,8	1,0	1,7	9,2	8,8	-0,6
	Retaguarda	104,2	1,1	1,8	7,4	5,6	-2,0
	Mudança de via	23,8	1,0	1,5	8,1	6,9	-2,3
	Total de conflitos	134,8	1,1	1,8	7,6	6,1	-2,0

Para o período entre as 17:00h-18:00, o número de conflitos, em relação ao cenário inicial, aumentou 18%, 24% e 84% para os cenários 2,3 e 4, respectivamente. Os conflitos de passagem foram os mais graves em todos os cenários, excepto no 4, em que não houve uma tipologia mais favorável. No que concerne à gravidade das colisões, os conflitos de passagem destacaram-se devido aos elevados valores de MaxV e ΔV obtidos em todos os cenários, contudo corresponderam aos conflitos de mudança de via, as maiores taxas de desaceleração, nomeadamente no cenário 3, com $-2,4 \text{ m.s}^{-2}$.

Em termos globais, não houve uma tipologia favorável em termos de gravidade conflitos e das colisões potenciais. Os menores valores médios de TTC e PET foram obtidos nos cenários 2 e 3, respectivamente. Adicionalmente, os três indicadores da gravidade obtiveram-se em 3 cenários distintos. Refira-se que os conflitos do cenário 4 denotaram a menor probabilidade na ocorrência de colisões, nomeadamente em termos do TTC, com um valor médio de 1,1 segundos.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Nas Figuras 82 a 85 são localizados os conflitos no estudo de caso, referentes às 10 simulações efectuadas. A maior concentração de conflitos foi verificada nas intersecções dos ramos 4 e 1 com a rotunda e também ao longo deste último ramo. Nas zonas próximas aos semáforos é também visível uma grande concentração de conflitos de retaguarda, pelo motivo já explicado anteriormente. A proximidade entre a entrada a partir do ramo 3 e a saída do ramo 4 concentra conflitos, nomeadamente de mudança de via.

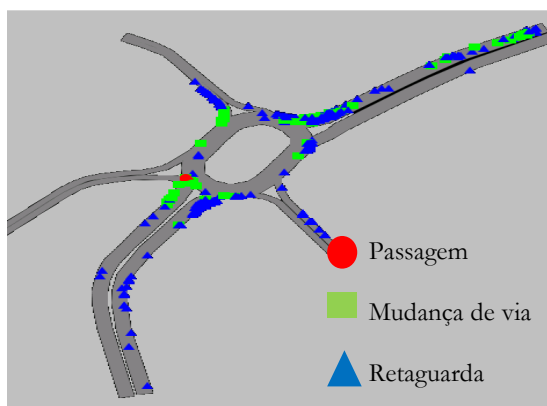


Figura 82: Localização dos conflitos no cenário 1 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado

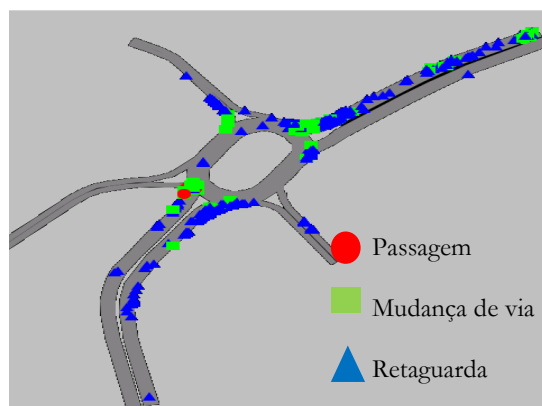


Figura 83: Localização dos conflitos no cenário 2 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado

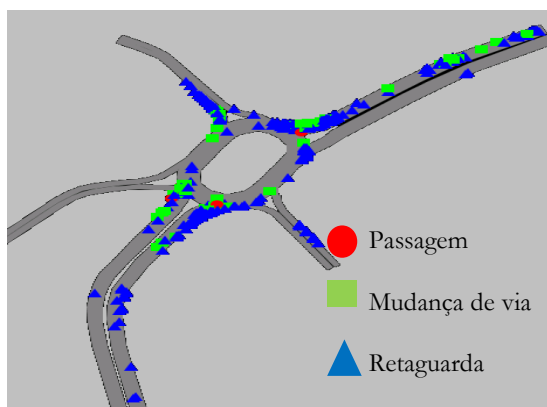


Figura 84: Localização dos conflitos no cenário 3 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado

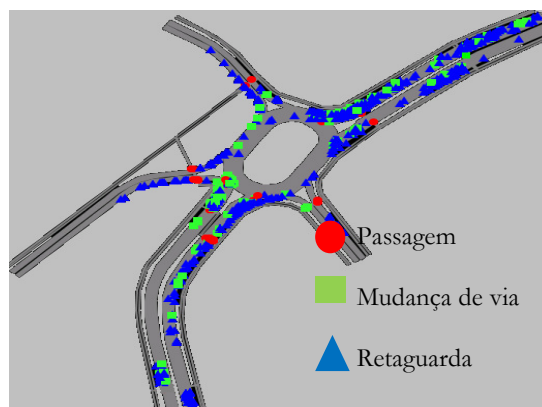


Figura 85: Localização dos conflitos no cenário 4 do projecto alternativo, para um volume de tráfego elevado

6.3 Análise estatística dos resultados obtidos para ambos os projectos

Nesta secção são comparados os conflitos obtidos em cada cenário para ambos os projectos, nos 3 volumes de tráfego e feita ainda, uma análise estatística sobre as médias dos conflitos totais para três níveis de gravidade dos mesmos, tendo em consideração três intervalos de TTC. Finalmente, foi feita uma comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Nos Quadros seguintes são apresentados os resultados referentes ao total de conflitos, sendo que no Anexo F, encontram-se os testes das restantes tipologias. Nos mesmos são expressos os valores das médias de ambas as amostras e o *p-value* relativo ao teste de t, sendo que nos casos em que o teste de *Levene* rejeitou H_0 , os resultados sobre a diferença de médias, consideraram variâncias das amostras diferentes.

Para um volume de tráfego baixo, o projecto alternativo revelou-se como melhor alternativa para uma condução mais agressiva do condutor e quando foram introduzidos peões na rede gráfica, no qual apresenta menos conflitos totais por cada simulação gerada, conforme pode ser visualizado na Figura 86. No entanto e segundo o Quadro 16, não se verificaram diferenças significativas das médias relativas ao número total de conflitos, bem como nas restantes tipologias (ver Quadros F.3 e F.6).

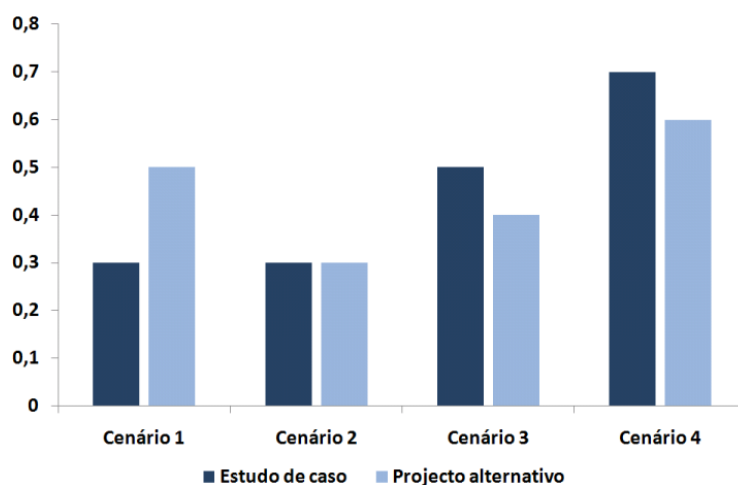


Figura 86: Comparação do número médio do total de conflitos de ambos os projectos para um volume de tráfego baixo

Quadro 16: Comparação das médias do total de conflitos, para um volume de tráfego baixo

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,63; 50%		0,36; 100%		0,53; 67%	
Cenário 2 Média	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,70; -33%		0,70; -33%		1,0	
Cenário 3 Média	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	1,0		1,0		0,75; -20%	
Cenário 4 Média	0,3	0,2	0,5	0,3	0,7	0,6
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,70; -33%		0,26; -60%		0,75; -14%	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

No que concerne às médias das medidas representativas do total de conflitos (ver Quadro 17), também não se verificaram diferenças entre os dois projectos, excepto para MaxV no cenário 4, no qual o *p-value* do teste foi de 0,01, penalizando o estudo de caso. O número de amostras relativo às medidas representativas corresponde à frequência de conflitos obtidas nas dez simulações, sendo pequeno para um volume de tráfego baixo (ver Quadros E.1 e E.5). Adicionalmente, o valor de *t* crítico é maior quanto menor for o número de amostras, resultando assim em diferenças de médias não significativas neste caso, apesar de terem sido verificadas diferenças relativas significativas para a medida DR em 225% e 767% nos cenários 2 e 4, respectivamente.

Quadro 17: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, para um volume de tráfego baixo

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0,47	0,52	0,20	0,44	15,80	15,44	2,92	1,22	-0,09	-0,02
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,89; 11%		0,22; 120%		0,36; -2%		1,70; -58%		0,71; -78%	
Cenário 2 Média	0,27	0,43	0,60	0,47	12,14	12,42	2,62	3,09	-0,08	-0,26
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,66; 59%		0,56; -28%		0,51; 2%		0,87; 18%		0,18; -225%	
Cenário 3 Média	0,38	0,37	0,36	0,50	15,52	15,34	2,68	1,18	-0,06	-0,04
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,99; -0,4%		0,48; 28%		0,77; -1%		0,24; -56%		0,91; -33%	
Cenário 4 Média	0,73	0,88	0,46	0,77	15,05	10,03	3,99	4,50	-0,03	-0,26
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,62; 21%		0,38; 67%		0,01; -33%		0,81; 11%		0,74; -767%	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;

Células sombreadas indicam diferença de médias significativa.

Para um volume de tráfego médio, o cenário alternativo revelou-se como melhor opção em todos os cenários, excepto quando foram introduzidos peões na rede gráfica (ver Figura 87).

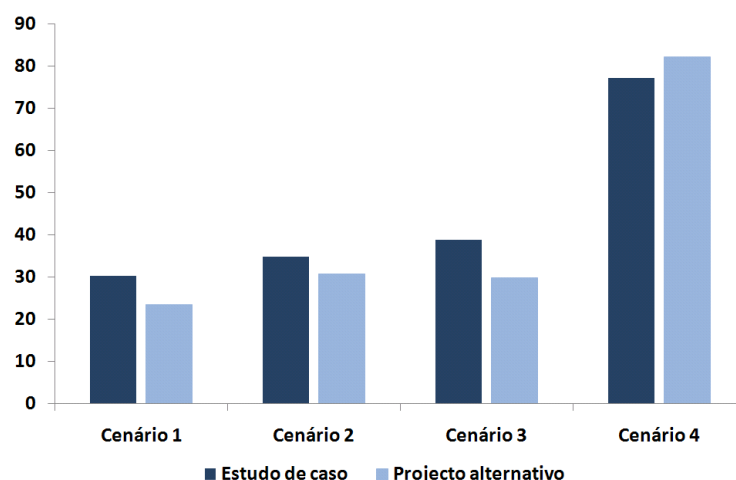


Figura 87: Comparação do número total de conflitos de ambos os projectos para um volume de tráfego médio

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Todavia, a rotunda do estudo de caso registou mais conflitos no mesmo cenário, para valores de TTC menores que 1,0 e 0,5 segundos, conforme é exposto no Quadro 18. Os testes estatísticos indicaram que a diferença de médias não foi significativa em ambos os casos.

Em termos globais, verificaram-se diferenças significativas das médias dos projectos para os cenários 1 e 3 em todos os intervalos de TTC analisados, nomeadamente para valores menores que 0,5 segundos, penalizando o estudo de caso em ambos. Para TTC inferiores a 0,5 segundos, as diferenças das médias do total de conflitos atingiram os 35% no cenário 1 e os 28% no cenário 3.

No que concerne aos conflitos de retaguarda (ver Quadro F.4) relativos ao cenário 4, o projecto alternativo revelou-se como pior opção para valores de TTC $\leq 1,5$ segundos, na qual a diferença atingiu os 18%. Porém, para valores de TTC mais baixos, as diferenças entre ambos os projectos não foram significativas e o projecto alternativo registou menos conflitos. A análise aos conflitos de mudança de via (ver Quadro F.7) indicou o estudo de caso como pior opção na generalidade dos testes efectuados. Finalmente, não se registaram diferenças de médias nos conflitos de passagem (ver Quadro F.1), em nenhum dos cenários implementados.

Quadro 18: Comparação das médias do total de conflitos, para um volume de tráfego médio

Total	TTC $\leq 0,5$		TTC $\leq 1,0$		TTC $\leq 1,5$	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	16,0	10,4	21,0	14,2	30,1	23,5
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,01; -35%		0,00; -32%		0,01; -22%	
Cenário 2 Média	17,4	14,7	22,9	18,9	34,9	30,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,04; -16%		0,06; -17%		0,22; -12%	
Cenário 3 Média	16,3	11,7	23,4	17,3	39,6	29,9
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,01; -28%		0,02; -26%		0,01; -24%	
Cenário 4 Média	28,8	24,8	36,7	33,4	77,2	82,3
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,09; -14%		0,30; -9%		0,24; 7%	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;

Células sombreadas indicam diferença de médias significativa

Os resultados relativos à média das medidas representativas do total de conflitos indicam que a probabilidade na ocorrência de colisões foi mais elevada no estudo de caso, sendo que nos cenários 1 e 4, a diferença foi significativa (ver Quadro 19) para o TTC e o PET. No caso desta última medida, a hipótese nula foi rejeitada em todos os cenários analisados, atingindo diferenças de 29% e 39% para velocidades de circulação de 50 km.h⁻¹ e 40 km.h⁻¹, respectivamente.

As medidas relativas à gravidade das colisões potenciais não indicaram qual a melhor opção, pois MaxV foi menor no projecto alternativo e as medidas ΔV e DR foram menores no estudo de caso, tendo sido verificadas diferenças de médias significativas em todos os cenários, excepto no cenário 4, para a medida ΔV . No caso da taxa de desaceleração inicial, as maiores diferenças foram registadas nos cenários 1 e 2, atingindo 50% e 51%, respectivamente.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro 19: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, para um volume de tráfego médio

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0,63	0,74	0,90	1,27	11,76	10,52	4,30	5,70	-1,03	-1,55
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,02; 17%		0,00; 29%		0,00; -11%		0,00; 33%		0,00; -50%	
Cenário 2 Média	0,68	0,72	0,94	1,31	9,91	9,00	4,00	4,63	-1,00	-1,51
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,56; 6%		0,00; 39%		0,00; -10%		0,02; 16%		0,00; -51%	
Cenário 3 Média	0,78	0,75	0,81	0,97	11,00	9,61	4,30	4,85	-1,27	-1,79
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,56; -4%		0,01; 20%		0,02; -13%		0,02; 13%		0,00; -41%	
Cenário 4 Média	0,85	0,97	1,60	1,87	9,05	7,87	4,59	4,68	-1,35	-1,68
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00; 14%		0,00; 17%		0,00; -12%		0,57; 2%		0,00; -24%	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;
Células sombreadas indicam diferença de médias significativa.

No volume de tráfego elevado, o projecto alternativo apenas se mostrou como melhor opção no cenário 4, conforme pode ser visualizado na Figura 88. No entanto, não se verificaram diferenças significativas entre as médias dos conflitos em todos os cenários e para diferentes intervalos de TTC, excepto no cenário 4, no qual o estudo de caso é menos seguro para valores de TTC menores que 1 e 0,5 segundos, conforme apresentado no Quadro 20.

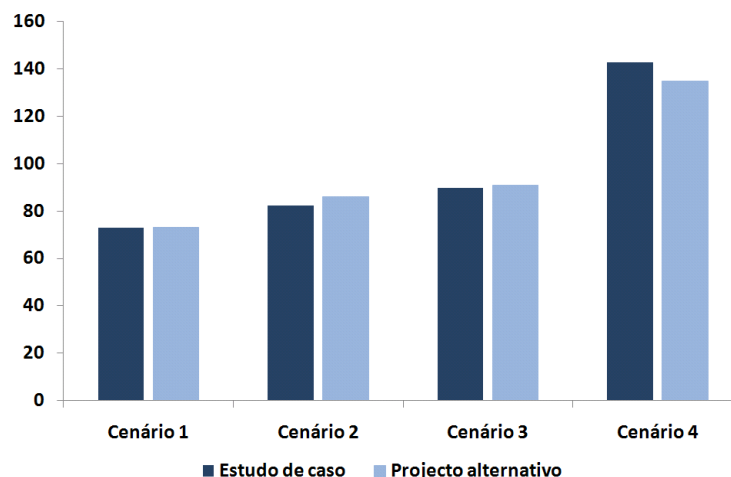


Figura 88: Comparação do número total de conflitos de ambos os projectos para um volume de tráfego elevado

Em termos de tipologias, o projecto alternativo registou mais conflitos de passagem (ver Quadro F.2) em todos os cenários, sendo que apenas para valores de $TTC \leq 1$ segundo no cenário 4, as diferenças entre ambos os projectos não foi significativa. Em oposição, os conflitos de mudança de via (ver Quadro F.8) foram mais incidentes no estudo de caso, na maioria dos testes efectuados, excepto para valores de $TTC \leq 0,5$ segundos, nos cenários 1 e 2 e para valores de $TTC \leq 1$ segundo, no cenário 4. No que concerne aos conflitos de

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

retaguarda (ver Quadro F.5), os testes indicaram diferenças significativas nos cenários 2 e 3 para $TTC \leq 1,5$ segundos, favorecendo o estudo de caso, porém H_0 não foi rejeitada nos restantes testes efectuados.

Quadro 20: Comparação das médias do total de conflitos, para um volume de tráfego elevado

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	26,3	24,1	38,3	35,0	72,9	73,2
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,39; -8%		0,37; -9%		0,96; 0,4%	
Cenário 2 Média	28,6	29,9	42,2	42,6	82,2	86,0
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,71; 5%		0,92; 1%		0,57; 5%	
Cenário 3 Média	26,6	24,0	46,5	44,9	89,9	90,9
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,51; -10%		0,78; -3%		0,90; 1%	
Cenário 4 Média	41,7	25,9	57,1	43,8	142,9	134,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00; -38%		0,00; -23%		0,21; -6%	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;

Células sombreadas indicam diferença de médias significativa

Os testes para a diferença de médias relativos ao TTC e cujos resultados estão expostos no Quadro 21, rejeitaram a hipótese nula no cenário 4, penalizando o estudo de caso. Para as restantes medidas, verificaram-se diferenças significativas das médias em todos os cenários, excepto no cenário 4 para a medida PET e no cenário 3, no caso de ΔV . Em termos globais, as medidas representativas referentes à gravidade de conflitos, indicam que o projecto alternativo é melhor opção. No entanto, as medidas que medem a gravidade das colisões, não revelaram uma opção favorável, pois MaxV foi menor no projecto alternativo e ΔV e DR, no estudo de caso, à semelhança do verificado no volume de tráfego médio.

Quadro 21: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, para um volume de tráfego elevado

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0,83	0,88	1,23	1,66	10,38	8,37	4,65	5,24	-1,48	-1,88
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,07; 6%		0,00; 35%		0,00; -19%		0,00; 13%		0,00; -27%	
Cenário 2 Média	0,84	0,87	1,34	1,71	8,61	7,47	4,15	4,76	-1,32	-1,89
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,22; 4%		0,00; 28%		0,00; -13%		0,00; 15%		0,00; -43%	
Cenário 3 Média	0,87	0,90	1,09	1,36	9,57	7,91	4,89	5,02	-1,64	-2,04
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,15; 3%		0,00; 25%		0,00; -17%		0,40; 3%		0,00; -24%	
Cenário 4 Média	0,95	1,07	1,71	1,75	8,39	7,61	4,58	6,05	-1,70	-1,95
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00; 13%		0,42; 2%		0,00; -9%		0,00; 32%		0,00; -15%	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;

Células sombreadas indicam diferença de médias significativa.

6.4 Correlação com um modelo de previsão de acidentes

A frequência de acidentes anuais previstos para os cenários 1, 2 e 4 e os conflitos para ambos os projectos, nos três volumes de tráfego são listados no Quadro 22, bem como as classificações ordenadas por ordem decrescente de frequências. Para os conflitos cuja diferença de médias não foi significativa, foi atribuída a mesma classificação. Na coluna direita do mesmo quadro podem ser vistos os valores relativos aos coeficientes de *Spearman* de cada cenário, calculados com base na equação 5.6.

Consultando a tabela de estatísticas de *Spearman* para $N = 6$ e um nível de significância de 0,05, verifica-se que o valor crítico de R_s é de $\pm 0,886$ [70]. Refira-se que o critério de decisão correlaciona os dados das amostras se $R_s > R_{s \text{ crítico}}$, ou seja, são excluídos os casos em que os valores de ambos são iguais.

Tendo em consideração os resultados apresentados no Quadro 22, não se verificaram correlações entre as ordens dos conflitos totais e as frequências de acidentes, pois R_s foi de 0,886 no cenário 1 e 0,800 nos cenários 2 e 4.

Para além destes, os conflitos de passagem e de retaguarda obtidos não obtiveram correlações com as ordens das frequências de acidentes. Os conflitos de passagem foram os menos consistentes, devido à sua ocorrência apenas para volumes de tráfego médios e elevados e em consequência desse facto, foram atribuídos com a mesma posição na tabela de frequências para baixos volumes de tráfego. Neste caso, foram obtidos valores de R_s de -0,429 nos cenários 1 e 2 e 0,543, no cenário 4 (ver Quadro F.9). No que concerne aos conflitos de retaguarda (ver Quadro F.10), obtiveram-se valores de R_s de 0,800, 0,714 e 0,771 nos cenários 1, 2 e 4, respectivamente.

Apenas os conflitos de mudança de via tiveram correlações com as frequências de acidentes, nos quais se obtiveram valores de R_s de 0,914 em todos os cenários analisados, segundo o Quadro F.11, validando os resultados obtidos no SSAM.

Quadro 22: Correlação de *Spearman* entre os conflitos totais e a frequência de acidentes

Cenário	Total		Volume Baixo		Volume Médio		Volume Elevado		R_s
			EC	PA	EC	PA	EC	PA	
1	Frequência de acidentes	M	0,115	0,105	0,218	0,150	0,285	0,188	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Total de conflitos	M	0,3	0,5	30,1	23,5	72,9	73,2	0,886
		P	1	1	4	3	5	5	
2	Frequência de acidentes	M	0,122	0,108	0,287	0,166	0,358	0,209	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Total de conflitos	M	0,3	0,3	34,9	30,8	82,2	86,0	0,800
		P	1	1	3	3	5	5	
4	Frequência de acidentes	M	0,128	0,120	0,310	0,218	0,385	0,282	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Total de conflitos	M	0,7	0,6	77,2	82,3	142,9	134,8	0,800
		P	1	1	3	3	5	5	

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;

M – valores médios, P – posição.

6.5 Análise da filtragem das colisões e dos eventos de baixa velocidade

Na maioria dos cenários avaliados, as imprecisões da simulação não podem ser completamente eliminadas sem alterar os parâmetros do comportamento do condutor ou a geometria do projecto para limites razoáveis. O Quadro 23 apresenta uma análise sumária das colisões virtuais e os eventos de baixa velocidade para os três volumes de tráfego. Para cada projecto são indicadas as percentagens de conflitos referentes aos mesmos, face à totalidade de conflitos identificados pelo SSAM. Refira-se que os valores apresentados correspondem à média das 10 simulações geradas e que no cenário 4 do projecto alternativo estão incluídos os conflitos relativos aos peões e veículos, nas passadeiras semaforizadas dos ramos 1 e 4.

Os resultados revelam a importância das colisões virtuais no total de conflitos, sendo mais significativa para volumes de tráfego médio e elevado na qual a percentagem foi superior a 64%. Apenas no cenário 1 do projecto alternativo para baixos volumes de tráfego, as colisões virtuais não influenciam no número total de conflitos. Este último facto explica a redução de conflitos para este período verificada no cenário alternativo para a velocidade de 40 km.h⁻¹ e a condução mais agressiva do condutor (ver Quadro 13), tendo em consideração que os conflitos filtrados em ambos os cenários corresponderam a 23% e 40% dos casos, respectivamente.

Todavia, o projecto alternativo é a melhor opção na maior parte dos casos analisados, excepto nos cenários 2 e 4 para um volume de tráfego baixo e ainda no cenário 4 para um volume de tráfego elevado.

Quadro 23: Sumário das colisões virtuais e dos eventos de baixa velocidade removidos

Cenário	Volume Baixo		Volume Médio		Volume Elevado	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
1	0,7/1 70%	0/0,5 0%	108,2/138,3 78%	68,8/92,3 75%	210,5/283,4 74%	170,3/243,5 70%
2	0,6/0,9 67%	1,0/1,3 77%	124,2/159,1 78%	80/110,8 72%	219,1/301,3 73%	194,5/280,5 69%
3	0,7/1,2 58%	0,6/1,0 60%	113,4/153,0 74%	67,4/97,3 69%	224,2/314,1 71%	158,8/249,7 64%
4	0,7/1,4 50%	4,7/5,3 89%	302,2/379,4 80%	286/368,3 78%	334,2/477,1 70%	424,1/559,5 76%

Legenda: EC – estudo de caso, PA – projecto alternativo;

7. Conclusões e trabalhos futuros

O trabalho realizado nesta Dissertação de Mestrado pretendia analisar a segurança rodoviária de uma rotunda da cidade de Aveiro e de um projecto alternativo para o mesmo local, através da aplicação do modelo de simulação rodoviária VISSIM e a ferramenta SSAM, tendo como critério de avaliação os conflitos obtidos e as medidas representativas da segurança rodoviária. Para tal, foram seleccionados três períodos do dia, correspondentes a três volumes de tráfego distintos, e estabelecidos diferentes cenários com o intuito de verificar a sua influência em termos da segurança rodoviária. Os cenários analisados passaram por estabelecer velocidades máximas para os veículos de 50 e 40 km.h⁻¹, uma condução mais agressiva do condutor e a introdução de peões na rede gráfica. Posteriormente, fez-se uma comparação dos resultados obtidos de ambos os projectos através da realização de testes estatísticos relativos à diferença de médias e efectuada uma correlação entre os valores médios dos conflitos obtidos e a frequência de acidentes resultantes dos modelos de previsão.

Começando pela rotunda existente, verificou-se que a influência dos parâmetros foi mais notória para os volumes de tráfego médio e elevado, dado o aumento dos conflitos relativamente ao estudo de caso inicial. No que concerne ao menor volume de tráfego, a influência foi menos significativa no projecto alternativo, no qual se verificou uma diminuição dos conflitos para a velocidade de 40 km.h⁻¹ e uma condução mais agressiva do condutor, devido ao facto de não terem sido registadas colisões virtuais no cenário inicial. No que diz respeito à natureza dos conflitos, os de retaguarda foram os mais predominantes em todos os cenários analisados.

As medidas representativas revelaram que os conflitos de mudança de via registaram elevadas diferenças de velocidades (ΔV) e taxas de desaceleração (DR), devido à sua ocorrência, na maior parte dos casos, ter sido nas zonas de intersecção dos ramos com a rotunda. Para além disso, os conflitos de passagem obtiveram ΔV elevados, ao resultarem na sua generalidade, de interações entre veículos e peões. Nos conflitos de retaguarda foram obtidos as maiores velocidades máximas (MaxV) devido à sua ocorrência nas zonas de circulação dos ramos, nas quais os veículos envolvidos circulavam a velocidades mais elevadas.

Para um volume de tráfego baixo, não se verificaram diferenças significativas entre as médias de ambos os projectos, bem como nas medidas representativas da segurança rodoviária em todos os cenários analisados. Verificou-se uma excepção no cenário onde houve introdução de peões, para o qual a medida relativa à velocidade máxima (MaxV) dos veículos envolvidos atingiu um valor 33% inferior no projecto alternativo. No volume de tráfego médio, o projecto alternativo mostrou-se claramente como melhor opção em termos de conflitos para os cenários relativos à velocidade de 50 km.h⁻¹ e uma condução mais agressiva. Finalmente, no período onde se verificou um maior volume de tráfego, não foram registadas diferenças relativas às médias de conflitos. No entanto, a incidência de conflitos mais graves, ou seja, para tempos até à colisão (TTC) inferiores a 1 segundo, foi significativa no estudo de caso, quando existem peões na rede gráfica.

As medidas representativas não foram conclusivas em relação ao melhor projecto. Nos três volumes de tráfego, a gravidade dos conflitos foi maior no estudo de caso, sendo que a diferença foi bastante significativa para maiores volumes de tráfego. Face a isso, o projecto alternativo apresentou menos conflitos para TTC mais baixos, na generalidade dos testes efectuados. Em relação à gravidade das hipotéticas colisões, os conflitos do projecto alternativo apresentaram menores MaxV nos três volumes de tráfego, porém, ΔV e DR foram

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

menores no estudo de caso, sendo que para volumes de tráfego médios e elevados, os testes estatísticos indicaram diferenças significativas entre os dois projectos, nos valores médios destas duas últimas medidas.

A correlação de *Spearman* foi usada para determinar o acordo entre os resultados obtidos em termos de conflitos e as frequências de acidentes, tendo sido obtida uma boa correlação dos dados para os conflitos de mudança de via em todos os cenários analisados. No entanto, tal não se verificou nas restantes tipologias de conflitos, bem como no total de conflitos.

Apesar dos resultados obtidos, a análise da segurança rodoviária baseada na micro-simulação apresentou-se como bastante válida, tendo em consideração a sua capacidade em distinguir diferentes parâmetros, tais como a velocidade de circulação dos veículos, tomadas de decisão dos condutores ou ainda para interações com peões, tendo sempre presente que os conflitos relativos a este modo de transporte não são directamente calculados pelo SSAM. Adicionalmente o algoritmo do SSAM foi capaz de localizar outros factores que afectam negativamente a segurança rodoviária como sendo curvas de reduzida visibilidade, ângulos de viragem relativamente pequenos ou ainda a presença de autocarros na via pública. Apurou-se que, em condições de tráfego distintas em ambos os projectos para uma dada configuração geométrica, o SSAM conseguiu discernir diferenças no número total de conflitos e segundo a sua tipologia (passagem, mudança de via e retaguarda), bem como relativamente às medidas representativas da segurança rodoviária (TTC, PET, MaxV, DR e ΔV).

No entanto, na maioria dos cenários analisados, a comparação dos dois projectos não revelou um design preferencial. Ou seja, o projecto alternativo apresentou menos conflitos face ao estudo de caso em alguns cenários, apesar de se verificar que algumas das medidas relativas à gravidade das hipotéticas colisões revelarem o contrário. Tendo em conta esta situação, este tipo de avaliação dos resultados dificulta uma tomada de decisão inequívoca sobre qual o projecto mais seguro.

Os critérios de classificação dos conflitos por parte do SSAM também levaram a algumas incoerências nos resultados. Este estudo classificou os conflitos entre os veículos em três tipos (retaguarda, mudança de via e passagem) baseando no ângulo de convergência dos veículos e na informação relativa às vias, sempre que possível. Porém, nem sempre esta última está disponível, nomeadamente no mundo real. Um exemplo claro é verificado quando existe um conflito entre um veículo que circula na rotunda e outro que dá entrada na mesma. Se o primeiro colide na retaguarda do segundo, é complicado discernir se o conflito que resultou na mesma era de retaguarda ou de mudança de via e a lógica baseada no ângulo de conflito nem sempre é a mais adequada. Outro problema que levanta a falta de informação da via diz respeito ao reconhecimento de incidentes que possam levar a conflitos. No caso particular do presente trabalho, o SSAM reconheceu as curvas ou a existência de autocarros como foco de conflitos o que se adequa à realidade, bem como, os conflitos entre peões e veículos. Todavia, apresentou algumas falhas na identificação de algumas situações específicas como sendo conflitos entre 2 peões e veículos e peões nas passadeiras semaforizadas que foi possível eliminar através da filtragem dos resultados.

É de referir que os resultados do SSAM dependem do processo de modelação do VISSIM. Até ao momento, a função dos modelos de simulação tem sido assente no desempenho e capacidade das redes viárias, e o nível de análise do SSAM é mais específico.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Existem três áreas de investigação no âmbito do SSAM que têm sido estudadas pelas autoridades da área dos transportes com o objectivo de validar e tornar ainda mais realista, o processamento dos dados por parte do modelo e que são a recolha de dados da trajectória real dos veículos, o estudo da lógica da classificação dos conflitos e o desenvolvimento de um índice de segurança composto. Até ao momento, os sistemas de processamento de imagem e vídeo ainda não são capazes de gravar dados detalhados da trajectória dos veículos. Por outro lado, e conforme foi referido anteriormente, os ângulos dos conflitos nem sempre conseguem fornecer resultados concretos referentes à natureza dos mesmos, sendo necessário estudar as mesmas e encontrar outros critérios. Evidentemente, esta alteração poderá considerar mais tipos de conflitos do que os identificados no SSAM. Finalmente, o desenvolvimento de um índice de segurança no algoritmo do SSAM seria recomendável para avaliar a magnitude das contradições entre a frequência de conflitos e as medidas representativas da segurança. Este tipo de índice seria útil nas situações em que não existe um design favorável, o que é o caso da presente Dissertação.

Devido à indisponibilidade em termos de tempo, não foi possível estabelecer cenários e ideias que complementaríamos este estudo. Algumas das ideias propostas para possíveis trabalhos futuros são as seguintes:

- Implementação de outros cenários alternativos para o estudo de caso, tais como a criação de vias destinadas a veículos de alta ocupação e a introdução de ciclistas na rede gráfica;
- Estudar a natureza real dos conflitos de modo a averiguar diferenças significativas nos obtidos para a simulação, bem como na localização das zonas de maior concentração dos mesmos;
- Realizar as mesmas condições do projecto em outros modelos de simulação compatíveis com o SSAM, visto que existem diferenças em termos dos algoritmos do comportamento do condutor e na escolha de rotas;
- Estudo de outras configurações geométricas, como sendo cruzamentos semaforizados e não semaforizados, nós de acesso a auto-estradas e rotundas de diferentes ramos e formas, de modo a tornar mais credível a validação teórica dos resultados no SSAM.

8. Referências

1. ACEA (2009), “*European Motor Vehicle Parc 2007*”, Associação Europeia de Construtores Automóveis, 73 pp.
2. EC (2009), “*EU Energy Transport in Figures*”, Comissão Europeia, ISBN 1725-1095, Direcção Geral de Energia e Transportes, 232 pp.
3. CARE (2007), “*Annual Statistical Report 2007*”, Comissão Europeia, Direcção Geral de Energia e Transportes, 64 pp.
4. CE (2010), em: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/index_en.htm, Acedido a Junho de 2010.
5. ANSR (2010), “*Ano de 2009: Sinistralidade Rodoviária*”, Autoridade Nacional para a Segurança Rodoviária, Lisboa, 58 pp.
6. MAI (2003), “*Plano Nacional de Prevenção Rodoviária*”, Ministério da Administração Interna, Lisboa, 84 pp.
7. ANSR (2008), “*Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária*”, Autoridade Nacional para a Segurança Rodoviária, Lisboa, 76 pp.
8. MOPTC (2008), “*184 km de novas estradas na Concessão Auto-Estradas do Centro*”, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Lisboa, 2 pp.
9. Goldstein, L. (1963), “*Accident Prevention Research: What it takes, Who can do it*”, Public Health, Vol. 78, No. 7, USA.
10. Blumenthal, M. (1968), “*Dimensions of the Traffic Safety Problem*”, Traffic Safety Research Review, Março, USA.
11. Archer, J. (2005), “*Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections*”, Tese de Doutoramento, Royal Institute of Technology, Estocolmo.
12. Little, A. (1966), “*The State of the Art of Traffic Safety, a Critical Review and Analysis of the Technical Information on Factors Affecting traffic Safety*”, Summary Report, A.D. Little Inc, USA.
13. OECD (1997), “*Road Safety Principles and Models: Review of Descriptive, Predictive, Risk and Accident Consequence Models*”, OECD Road Transport Research, Paris.
14. ASME (2008), “*2028 Vision for Mechanical Engineering. A report of the Global Summit on the Future of Mechanical Engineering*”, American Society of Mechanical Engineers, New York, 28 pp.
15. Lieberman, E., Rathi, A. (2001), “*Traffic Simulation*”, em: “Gartner, N., Messer, C., Rathi, A. (2001), “*Revised Monograph of Traffic Flow Theory*”, Capítulo 10, FHWA, U.S. Department of Transportation, 25 pp.
16. Sayed, T., Brown, G., Navis, F. (1994), “*Simulation of Traffic Conflicts at Unsignalized Intersections with TSC-Sim*”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 26, No. 5, pp. 593-607.

17. Kim, K., Sul, J. (2009), “*Development of Intersection Traffic Accident Risk Assessment Model – Application of Micro-simulation Model with SSAM to Sungnam City*”, Transportation & Environment Research Institute Ltd., 6 pp.
18. Obeng-Boampong, K., Ding, L., Henk, R., Williams, J., Vo, P. (2008), “*An assessment of yield treatments at frontage road exit ramp and frontage road-U-turn merge areas*”, Relatório FHWA/TX-08/0-4986-1, U.S. Department of Transportation.
19. Gettman, D., Head, L. (2007), “*Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report*”, Publication FHWA-RD-03-051. FHWA, U.S. Department of Transportation.
20. Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., Shelby, S. (2003), “*Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models – Final Report*”, Publication FHWA-RD-03-050. FHWA, U.S. Department of Transportation.
21. Jenkins, J., Rilett, L. R. (2004), “*Application of Distributed Traffic Simulation for Passing Behavior Study*”, Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1899, No. 2, pp. 11–18.
22. Ledoux, C., Archer, J. (1999), “*Assessing the safety impact of intelligent transport systems*”, Center for Traffic Engineering and Traffic Simulation, Royal Institute of Technology, 9 pp.
23. Morsink, P., Wismans, L., Dijkstra, A. (2008), “*Micro-Simulation for road safety impact assessment of advanced driver assistance systems*”, European ITS Congress, Geneva, Junho 2008, paper 2676, 10 pp.
24. Oei, H., Polak, P. (2002), “*Intelligent speed adaption (ISA) and road safety*”, SWOV Institute for Road Safety Research, 7 pp.
25. Ma, X., Andréasson, I. (2005), “*Predicting the effect of various ISA penetration grades on pedestrian safety by simulation*”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 37, No 6, pp. 1162-1169.
26. Vanderschuren, M. (2008), “*Safety improvements through Intelligent Transport Systems: A South African case study based on microscopic simulation modelling*”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 40, No 2, pp. 807-817.
27. Liu, R., Tate, J. (2000), “*Micro-simulation Modelling of Intelligent Speed Adaptation System*”, Proceedings of ETA, PTRC, London, UK.
28. Brackstone, M., McDonald, M., Sultan, B. (1999), “*A Collision Model for the Assessment of the Safety Benefits of AVCSS*”, Actas do 6th ITS World Congress, Toronto, Canada.
29. Sala, G., Mussone, L. (1999), “*The Evaluation of Impact on Traffic Safety of Anti-Collision Assist Applications*”, Actas do 6th World Congress on ITS, Toronto, Canada.
30. Roozenburg, A., Turner, S. (2005), “*Accident Prediction Models for Signalized intersections*”, Unpublished Roads Safety Trust Research Report, 12 pp.
31. Maycock, G., Hall, R. (1984), “*Accidents at four-arm roundabouts*”, Transport and Road Research Laboratory Report, TRL Report LR 1120, Crowthorne, UK, 61 pp.
32. Arndt, O., Troutbeck, R. (1995), “*Relationships between roundabout geometry and accident rates*”, Transport Research Board, E-C003, 28 pp.

33. Taylor, M., Hall, R., Chatterjee, K. (1996), “*Accidents at 3-arm traffic signals on urban single-carriageway roads*”, TRL 135, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK, 87 pp.
34. Hall, R. D. (1986), “*Accidents at four-arm single carriageway urban traffic signals*”, CR 65, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK, 107 pp.
35. Turner, S. (2000), “*Accident Prediction Models*”, Transfund New Zealand Research Report No. 192, Transfund New Zealand, 78 pp.
36. Turner, S., Roozenburg, A., Smith, A. (2009), “*Roundabout crash prediction models*”, New Zealand Agency Research Report, No. 386, 102 pp.
37. Eenink, R., Reuring, M., Elvik, R., Cardoso J., W. Sofia, Stefan, C. (2008), “*Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: recommendations for using these tools*”, Sixth Framework Programme Priority, No. 506184, 20 pp.
38. Kulmala, R. (1995), “*Safety at Rural Three- and Four-Arm Junctions: Development and Application of Accident Prediction Models*”, Technical Research Centre at Finland, VTT Publications, Finland.
39. Maher, M., Sommersgill, I. (1996), “*A Comprehensive Methodology for the Fitting of Accident Prediction Models*”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 28, No. 3, pp. 281-296.
40. Geetam, T., Fazio, J., Baurav, S. (2007), “*Traffic Planning for non-homogeneous Traffic*”, Sadhna (special issue on Transportation Research - Safety and Sustainability), 32:4, pp. 309-328.
41. Sayed, T., Zein, S. (1998), “*Traffic Conflict Models and Standards for Signalized and Unsignalized Intersections*”, Proceedings of the CSCE 2nd Transportation Specialty Conference, June 10-13, Halifax.
42. Salman, N., Al-Maita, K. (1995), “*Safety evaluation at three-leg, unsignalized intersections by traffic conflict technique*”, Transportation Research Record, Vol. 1485, pp. 177-185.
43. Perkins, S., Harris, J. (1968), “*Traffic Conflict Characteristics: Accident potential at intersections*”, Highway Research Record, Vol. 225, pp. 45-143, Highway Research Board, Washington DC.
44. Hyden, C. (1987), “*The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish traffic conflicts technique*”, Tese de Doutorado, Lund University of Technology, Lund, Sweden, bulletin 70.
45. Lim, C., Saunier, N., Sayed, T. (2007), “*Probabilistic Collision Prediction for Vision-Based Automated Road Safety Analysis*”, Intelligent Transportation Systems Conference, 7 pp.
46. Robinson, B., Rodegerdts, L., Scarborough, W., Kittelson, W. (2000), “*Roundabouts: An Informational Guide*”, Publication FHWA-RD-00-067, FHWA, U.S. Department of Transportation.
47. Leur, P., Sayed, T. (2002), “*Development of a Road Safety Risk Index*”, Transportation Research Record, Vol. 1784, No. 02-2814, pp. 33-42.
48. Hayward, J. (1972), “*Near miss determination through use of a scale of danger*”, Report No. TTSC 7715, Pennsylvania State University, Penn., USA.

49. Fancher, P., Koziol, J., Baker, M. (1997), “*Preliminary Results from the Intelligent Cruise Control Field Operational Test in South-eastern Michigan*”, Actas do 4th Annual World Congress on Intelligent Transport Systems, Berlim, Alemanha.
50. Van Arem, B., De Vos, A. (1997), “*The Effect of a Special Lane for Intelligent Vehicles on Traffic Flows*”, TNO-INRO Report 1997-02a, Delft, Netherlands.
51. Hydén, C. (1996), “*Traffic Conflicts Technique: State-of-the-art*”, University Kaiserslautern, Transportation Department, 1998, Green Series.
52. Minderhoud, M., Bovy, P. (2001), “*Extended Time-to-Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment*”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, No. 1, pp.89-97.
53. Várhelyi, A. (1996), “*Dynamic Speed Adaptation Based on Information Technology – A Theoretical Background*”, Bulletin 142, Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Suécia.
54. Luk, J., Tay, J. (2006), “*The use and application of microsimulation traffic models*”, Austroads, AP–R286/06, 103 pp.
55. Algers, S., Bernauer, E., Boero, M., Breheret, L., Di Taranto, C., Dougherty, M., Fox, K., Gabard, J. (1997), “*Review of Micro-Simulation Models*”, SMARTTEST Project Deliverable D3, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds, U.K.
56. Leal, A. (2008), “*Modelação do Sistema Rodoviário: o conflito emergente*”, Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências da Complexidade. ISCTE. Lisboa.
57. TFL (2003), “*Micro-simulation Modelling: Guidance Note for Transport for London*”, Transport for London, London, 20 pp.
58. SIEMENS (2009), SSAM 2.1.6, em: <http://www.itssiemens.com/research/ssam/#toc-benefits>, Acedido a Dezembro de 2009.
59. Ledoux, C., Archer, J. (1999), “*Assessing the safety impact of intelligent transport systems*”, Center for Traffic Engineering and Traffic Simulation, Royal Institute of Technology, 9 pp.
60. Archer, J., Kosonen, I. (2000), “*The Potential of Micro-Simulation Modelling in Relation to Traffic Safety Assessment*”, Actas da ESS Conference 2000, Alemanha.
61. Torbic, D., Harwood, D., Gilmore, D., Richard, K. (2007), “*Interchange Safety Analysis Tool (ISAT): Final Report*”, Publication FHWA-HRT-07-045, U.S. Department of Transportation.
62. PTV (2008), “*VISSIM 5.10 – User Manual*”, Planning Transport Verkehr, 428 pp.
63. BING BETA (2010), em: <http://www.bing.com/maps/>, Acedido a Fevereiro de 2010.
64. CÂMARA MUNICIPAL DE AVEIRO (2010), em: <http://www.cm-aveiro.pt>, Acedido a Fevereiro de 2010.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

65. Coelho, M. C. (2005), “*Assessment and Modeling of Traffic Performance and Emission Impacts of Traffic Interruptions in Urban Corridors*”, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.
66. MOVE AVEIRO (2010), em: <http://www.moveaveiro.pt>, Acedido a Março de 2010.
67. TRANSDEV (2010), em: <http://www.transdev.pt/>, Acedido a Março de 2010.
68. Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto. *Diário da República Série nº 152 - I Série*. Ministério do Trabalho e da Segurança Social, Lisboa.
69. Silva, A.M., Seco, A.J. (2004), “*Dimensionamento de rotundas*”, 3ª edição, Textos Didáticos, Coimbra, 42 pp.
70. Freund, J. E. (1994), “*Modern Elementary Statistics*” 6ª edição, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
71. AASHTO (1994), “*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*”, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.
72. Bandeira, J. F. (2009), “*Modelo de uso do solo de Aveiro: Impacto na mobilidade e qualidade do ar*”, Dissertação de Mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis, Universidade de Aveiro.
73. Decreto-Lei n.º 123/1997 de 22 de Maio. *Diário da República Série nº 118 - I Série*. Ministério da Solidariedade e da Segurança Social, Lisboa.
74. Gettman D., Head, L. (2003), “*Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models*”, Transportation Research Record, Vol. 1840, No. 03-2958, pp. 104-115.

Anexos

Anexo A – Características do SSAM

Algoritmos para avaliação das medidas representativas da segurança rodoviária em cruzamentos

Como foi referido anteriormente, os eventos de conflito são ocorrências entre dois veículos em rota de colisão, mas que devido a uma determinada acção evasiva, não colidem. Os tipos de conflitos representados pelas medidas representativas da segurança rodoviária resultam de comportamentos normais de condução, sendo facilmente observáveis e modelados nos simuladores actuais. Estes incluem os pontos de conflito, mudanças de via e ainda, os conflitos de retaguarda [74].

Porém, existem outros tipos de colisões como sendo as de lado a lado, frontais e relacionadas com mudança no sentido de via, que os simuladores ainda não são capazes de simular e consequentemente não são avaliadas pelo modelo SSAM. Adicionalmente, os conflitos analisados pelo mesmo, não representam a capacidade dos veículos em reagir e executar algumas medidas, tais como efectuar um desvio face à iminência de um perigo, desacelerar ou mudar de via autonomamente e também, abortar uma manobra [74].

Ponto de conflito

Um ponto de conflito representa um local fixo onde dois fluxos se interceptam. Nas simulações este ponto não varia, ou seja, se existem vários caminhos disponíveis, tem de ser previamente definido. Durante a modelação de tráfego é útil localizar os pontos durante o início da simulação e armazená-los numa estrutura de dados por cada intersecção, de modo a evitar o seu cálculo sucessivo, cada vez que se avalia uma dada manobra do condutor.

A linha de espaço-tempo para um ponto de conflito é ilustrada na Figura A.1. A curva A representa a trajectória do veículo que atravessa o mesmo, enquanto a curva B, traduz a trajectória do veículo precedente que passa no intervalo de tempo e executa as acções evasivas para evitar a colisão. Os tempos referidos definem-se da seguinte forma:

- t1: momento em que o veículo A entra na área de invasão do cruzamento;
- t2: momento em que o veículo B se apercebe que uma colisão pode ocorrer e começa a travar;
- t3: no canto direito ou esquerdo (conforme o sentido de viragem) do pára-choques traseiro, o veículo A deixa a área de invasão do ponto de conflito;
- t4: trajectória projectada do veículo B supondo que o mesmo não variou a velocidade, isto é, não ocorreu a situação passível de colisão;
- t5: o veículo B, por algum motivo, chega ao ponto de conflito [20,74].

Os pontos de conflito também ocorrem na intersecção de um fluxo em que dois veículos seguem a mesma direcção mas numa via distinta. Para avaliar estas situações numa simulação, é necessário variar o caminho de entrada com a linha. Por exemplo, no mundo real, muitas manobras são feitas pelos motoristas desde que aceitem abrir um certo espaço para outros, variando a linha da pista de modo a que tal seja possível [20,74].

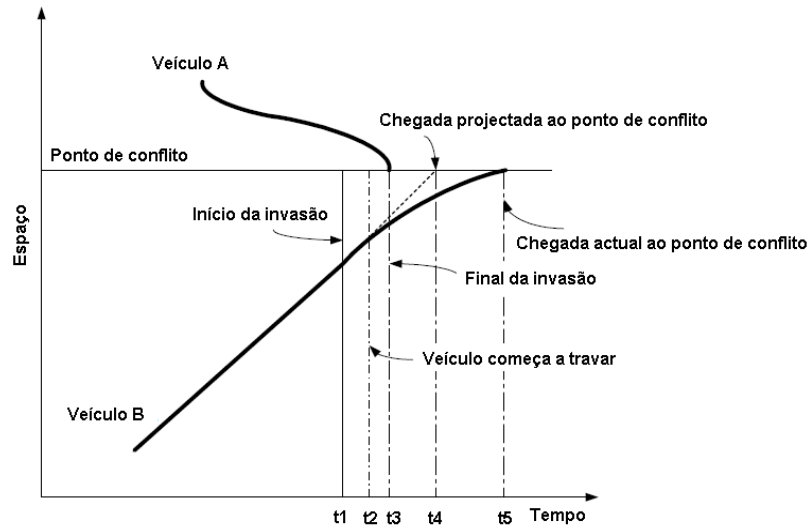


Figura A.1: Diagrama do ponto de conflito [adaptado de 20]

Linha de conflito

As linhas de conflito representam uma região do espaço onde um veículo precedente e o seguinte são sujeitos a um dado conflito. Por exemplo, quando um dos veículos entra em frente a outro a partir de uma rua transversal, ou ainda quando o veículo da frente decide mudar abruptamente de direcção [20,74].

Refira-se que as linhas de conflito não são locais fixos, sendo que dependem da aceleração ou desaceleração dos veículos envolvidos e a sua modelação tem de ser feita, caso a caso [20,74].

Na Figura A.2 tem-se representado o diagrama referente a uma linha de conflito sendo que a curva de nível superior, corresponde à trajectória do veículo da frente (denominado de veículo líder) e a curva de nível inferior, à do veículo precedente. Os tempos referidos definem-se da seguinte forma:

- t_1 : momento em que o veículo da frente entra na área de sobreposição;
- t_2 : momento em que o veículo precedente se apercebe que pode ocorrer uma colisão e começa a travar;
- t_3 : actualização das variáveis de estado no simulador;
- t_4 : o veículo da frente pára de acelerar;
- t_5 : trajectória projectada para o veículo líder, quando chega ao primeiro ponto de invasão;
- t_6 : o veículo da frente chega à distância máxima em relação ao ponto de partida;
- t_7 : trajectória projectada do veículo precedente quando chega ao segundo ponto de avanço com a mesma velocidade que tinha durante o período em que permaneceu na linha de conflito;

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

- t_8 : o veículo precedente chega ao primeiro ponto de invasão da linha de conflito;
- t_9 : o veículo precedente atinge a distância máxima em relação ao ponto de conflito [20,74].

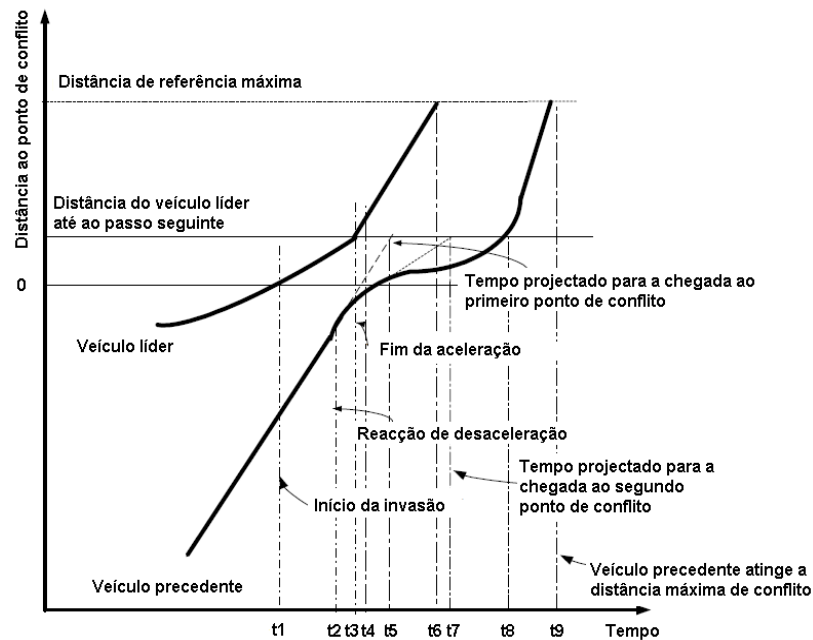


Figura A.2: Diagrama da linha de conflito [adaptado de 20]

As linhas de conflito de retaguarda são situações em que o veículo líder ou precedente podem ter uma acção ofensiva, resultando numa quase colisão. Nestas, o principal indicador para a sua verificação é a travagem do veículo que é seguido, pois o objectivo no estudo das mesmas, é articular a frequência de conflitos de retaguarda com as condições do cruzamento existentes e projectadas [20,74].

Um cronograma para este tipo de eventos pode ser visualizado na Figura A.3 em que é descrita a mudança do veículo de uma via principal para outra secundária. A curva de nível superior representa a trajectória do veículo da frente e a curva inferior, a do veículo precedente. Os tempos referidos definem-se da seguinte forma:

- t_1 : o veículo da frente começa a desacelerar para sair da rua principal;
- t_2 : o veículo precedente percebe que uma colisão pode ocorrer e começa a travar;
- t_3 : actualização das variáveis de estado no simulador;
- t_4 : trajectória projectada do veículo precedente, caso tivesse mantido a mesma velocidade antes de desacelerar;
- t_5 : trajectória projectada do veículo precedente para chegar ao seguinte ponto da linha de conflito (onde o líder atingiu em t_3), caso tivesse mantido a mesma velocidade no ponto t_3 ;

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

- t_6 : a seguinte etapa da simulação é alcançada e as variáveis de estado são actualizadas;
- t_7 : o veículo da frente sai da rua principal;
- t_8 : trajectória que foi projectada para veículo precedente alcançar o ponto que o veículo da frente atingiu em t_6 [20,74].

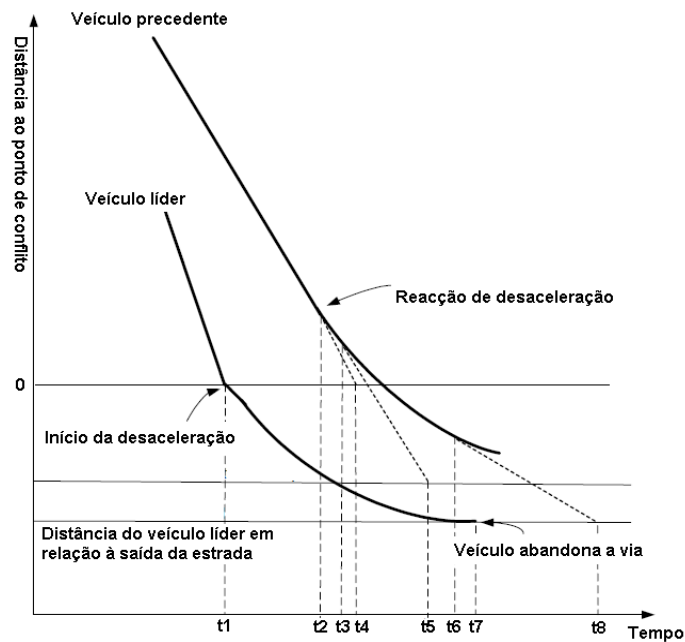


Figura A.3: Exemplo de um conflito de retaguarda [adaptado de 20]

Algoritmos para o cálculo das medidas representativas

As medidas representativas calculadas pelo SSAM e sugeridas [19] para os conflitos anteriormente referidos são:

- TTC;
- PET;
- DR;
- MaxV;
- ΔV ;
- Coordenadas referentes à localização do início e término dos pontos e linhas de conflitos.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Os dois primeiros indicadores estão relacionados com a probabilidade de colisão, sendo mais elevada para menores valores de TTC e o PET. Por outro lado, valores elevados de DR, MaxV e ΔV indicam uma maior gravidade resultante da colisão potencial [20].

Seguidamente, são especificados os procedimentos de cálculo das medidas representativas da segurança rodoviária para um ponto e linha de conflito através dos diagramas de trajectória das mesmas.

Na Figura A.4 podem ser visualizadas as medidas representativas da segurança rodoviária para um ponto de conflito. O valor de TTC resulta da diferença entre o tempo correspondente à chegada projectada ao ponto de conflito, por parte do veículo precedente e o abandono da área de invasão do veículo A ($t_4 - t_3$). O PET é a diferença entre a chegada ao ponto de conflito e o abandono da área de invasão ($t_5 - t_3$) [20]. Para um único veículo, MaxV define-se como a velocidade máxima dos veículos envolvidos entre os tempos t_1 e t_5 e ΔV , a maior diferença de velocidades para cada intervalo de tempo. Finalmente, DR corresponde à segunda derivada da curva do veículo B, para o tempo t_2 [20].

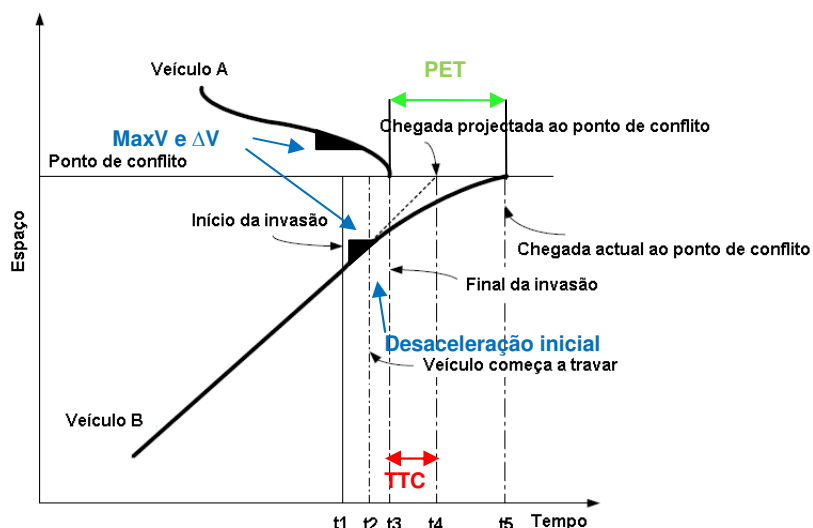


Figura A.4: Identificação das medidas num diagrama do ponto de conflito [adaptado de 20]

De forma análoga, na Figura A.5 estão representadas as medidas anteriormente referidas para uma dada linha de conflito. O valor de TTC é definido em cada passo de tempo durante o evento a partir do momento em que o veículo começa a travar para evitar a colisão. Em cada um é calculada a duração que o veículo demoraria a chegar à localização actual do veículo líder, se a sua velocidade mantivesse inalterada desde o início. O valor mínimo é registado como o valor de TTC para o evento da linha de conflito. Se os valores de TTC aumentarem após o primeiro cálculo, então o primeiro valor será o mínimo, caso contrário, os valores vão sendo actualizados até o valor de TTC começar a aumentar [20].

À semelhança do TTC, o PET registado é o mínimo ao longo da duração da linha de conflito. Em cada passo de tempo, a localização do veículo líder é registada até ambos veículos não estarem mais em rota de colisão (caracterizada pela velocidade nula do veículo precedente) ou quando a distância de conflito máxima é atingida. Em cada local, é gravado o

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

valor de PET que resulta da diferença de tempo entre a chegada do veículo da frente ao local e o precedente. No caso da Figura A.5, os valores de TTC e PET seriam TTC-1 e PET-1 a que correspondem os menores comprimentos das chavetas [19]. Os valores de MaxV e ΔV são determinados de forma análoga ao do ponto de conflito, sendo definidos como a velocidade máxima dos veículos entre o intervalo t_1 e t_9 no caso de MaxV e a maior diferença de velocidades dos mesmos, para ΔV [20]. No que concerne a DR, corresponde à segunda derivada do veículo precedente para o intervalo de tempo t_2 [20].

A Figura A.6 ilustra as definições das medidas no caso de um conflito de retaguarda. O algoritmo para a obtenção das medidas representativas é semelhante ao da linha de conflito.

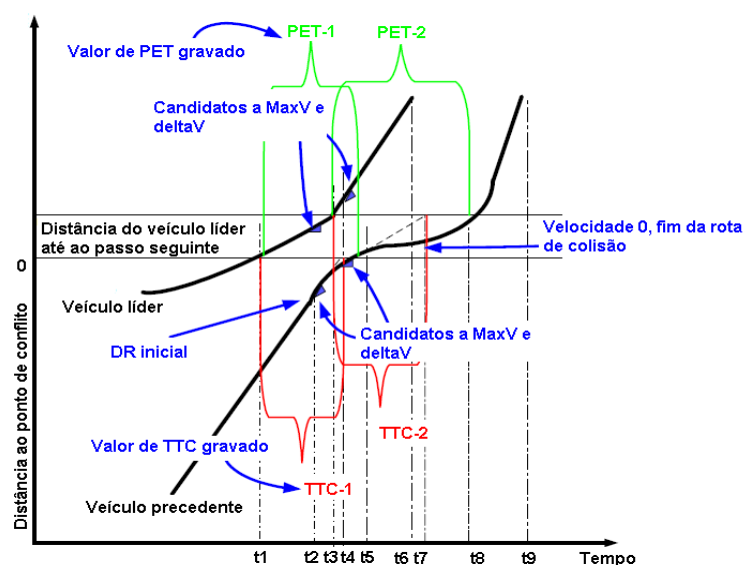


Figura A.5: Identificação das medidas num diagrama da linha de conflito [adaptado de 20]

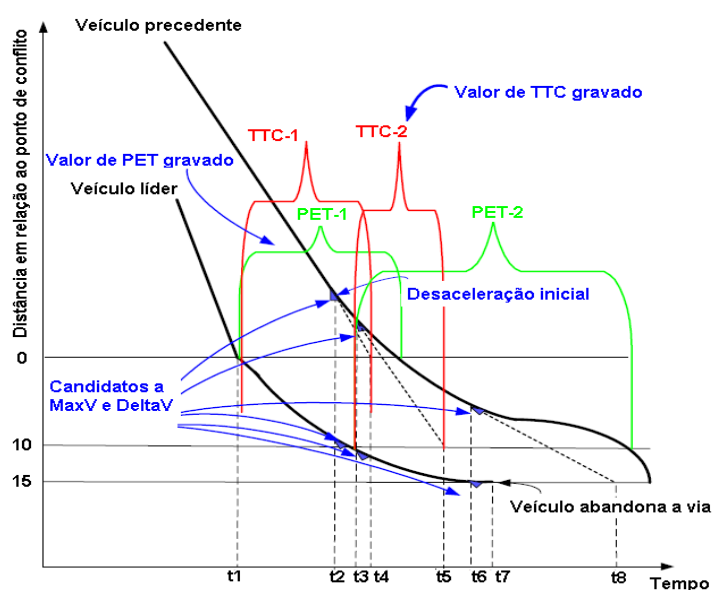


Figura A.6: Identificação das medidas no diagrama da linha de conflito de retaguarda [adaptado de 20]

Algoritmos para a identificação dos conflitos

Esta secção resume os algoritmos usados pelo SSAM para identificar os possíveis conflitos a partir dos arquivos da trajectória do veículo (ficheiros TRJ). Esta tarefa pode ser computacionalmente intensiva pois depende do tamanho do ficheiro processado, que é função do número de veículos na rede gráfica e do período de tempo da simulação. Seguidamente, são apresentados os passos que resumem a técnica de identificação dos conflitos por parte do SSAM.

Passo 1

Determinação das dimensões da área, com base na análise do nome do ficheiro TRJ. Estas dimensões definem a largura e o comprimento de um rectângulo de análise e indicam se os dados são fornecidos em unidades inglesas ou métricas. O SSAM constrói várias matrizes de dados convertidas em áreas rectangulares (ver Figura A.7) com dimensões 15 m×15 m [19].

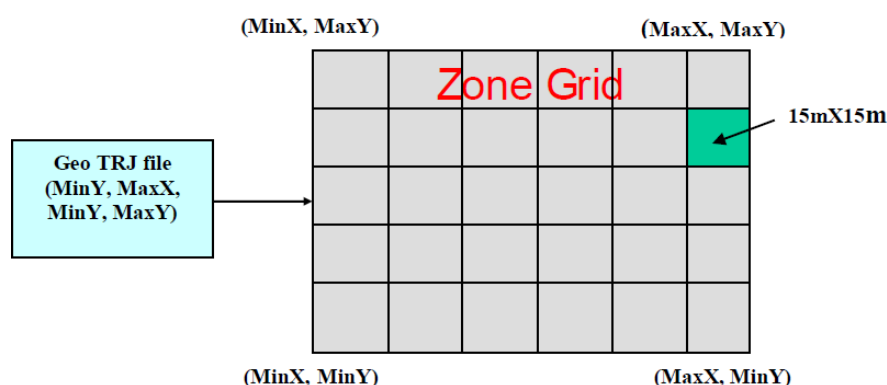


Figura A.7: Ilustração da matriz de dados [19]

Passo 2

Análise de um arquivo de trajectória para um dado intervalo de tempo. O SSAM projecta a localização exacta de cada veículo da região de análise, que é função da sua velocidade actual e do valor de TTC definido inicialmente. A trajectória projectada do veículo é baseada nos 10 segundos seguintes. O caminho, como pode ser visualizado na Figura A.8, é um conjunto de segmentos de linha (identificada pela letra S) conectados com a localização futura do veículo (identificada pela letra X) [19].

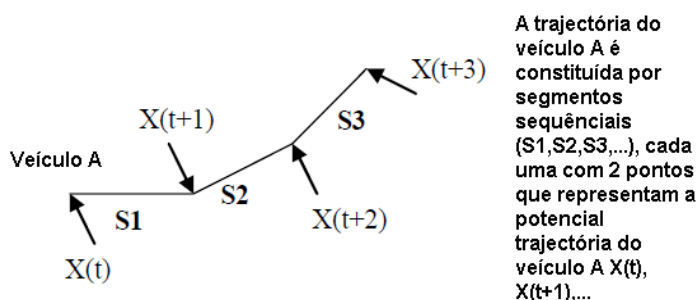


Figura A.8: Trajectória do veículo [adaptado de 19]

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

A projecção da distância para que o veículo possa avançar em frente no intervalo de tempo especificado, ocorre da seguinte forma: primeiro, são extraídos os dados relacionados com a trajectória (posição, velocidade, aceleração, entre outros) no momento que este passa em t_1 ; posteriormente, o SSAM projecta a distância em relação aos veículos da frente, através da trajectória definida pelas coordenadas anteriores:

1. Cada veículo é definido como um rectângulo, com trajectórias x_1, y_1 e x_2, y_2 (ver Figura A.9);
2. A distância a que o veículo irá viajar é calculada para o valor máximo do intervalo de TTC, sendo denominada de $DIS_1 = V_1 \times \text{MaxTTC}$;
3. A localização futura do veículo (x_2, y_2) no seguinte passo de tempo é calculada com base na distância da localização actual do veículo para esse local, denominada de $DIS_2 = | \text{Localização } (t+1) - \text{Localização } (t) |$;
4. Se $DIS_2 < DIS_1$, então DIS_2 é subtraído a DIS_1 e os dois cálculos anteriores são repetidos, actualizando $DIS_1 = DIS_1 - DIS_2$ e $DIS_2 = | \text{Localização } (t+2) - \text{Localização } (t+1) |$;
5. Se $DIS_2 > DIS_1$, então a localização $x - y$ é calculada para situar o ponto de projecção com um segmento com comprimento DIS_2 .

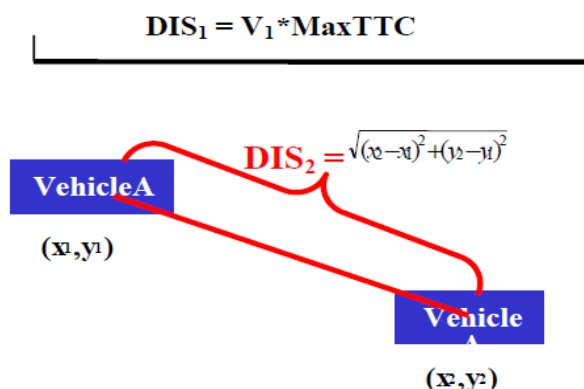


Figura A.9: Definição de DIS_1 e DIS_2 [19]

Passo 3

Para cada veículo, é calculado o perímetro do rectângulo que delimita a localização e orientação actuais e projectadas. Ao longo da área do rectângulo, são calculadas zonas rectangulares que contêm pelo menos, alguma porção do veículo. Para cada uma, os veículos existentes são adicionados individualmente em forma de rectângulos, sendo feita uma verificação de potenciais sobreposições com outros veículos (rectângulos) já existentes na zona. Existe a possibilidade de dois veículos ocuparem parcialmente a mesma zona sem sobreposição. No entanto, dois rectângulos sobrepostos indicam que uma futura colisão é projectada para este par de veículos e portanto, um conflito potencial foi identificado, como pode ser retratado na Figura A.10.

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

O SSAM contém uma lista de todos os veículos em conflitos para o passo de tempo actual, sendo que para cada avanço temporal, é adicionado um novo par de veículos caso os mesmos não estejam incluídos na lista. Refira-se, que o tempo registado para o qual o par de veículos é adicionado corresponde ao momento da sua primeira identificação.

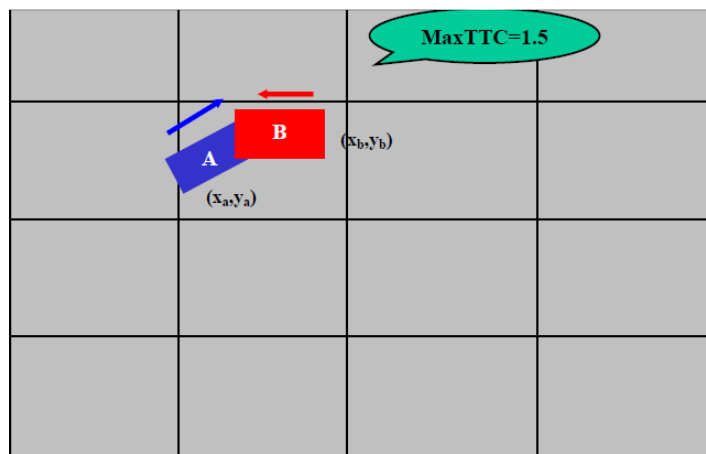


Figura A.10: Verificação de um conflito entre dois veículos para um valor máximo de TTC [19]

Passo 4

O SSAM realiza um processamento mais detalhado de cada conflito do par de veículos na lista, para o tempo actual da etapa seguinte e os valores das medidas representativas da segurança rodoviária são actualizados.

Termos e definições

Para além das medidas representativas já referidas na secção anterior, existem outros termos que o SSAM identifica e que são fornecidas no menu do quadro de conflitos ilustrado na Figura 39.

- *tMinTTC*: é o tempo da simulação no qual foi observado o menor valor de TTC. No início de cada simulação, o tempo é 0 segundos e o avanço é feito através de incrementos de 0,1 a 1 segundos, conforme a resolução do software rodoviário;
- *xMinPET*: coordenada x na qual foi verificado o valor mínimo de PET. Mais especificamente, este local corresponde ao centro do primeiro veículo onde a chegada subsequente do segundo veículo foi observada com o menor avanço;
- *yMinPET*: coordenada y na qual foi verificado o valor mínimo de PET;
- *ConflictAngle*: ângulo estimado aproximado da colisão hipotética entre dois veículos;
- *PostCrashV*: estimativa da velocidade de colisão, assumindo que os veículos têm uma colisão no valor do ângulo de conflito, nas velocidades observadas no *tMinTTC*. Este valor pressupõe ainda, que a colisão é inelástica ou seja, entre o

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

centro de massa dos veículos e que após a mesma, ambos seguem na mesma direcção à mesma velocidade;

- *PostCrashHeading*: posição estimada dos veículos na sequência de uma hipotética colisão sendo expressa como o ângulo anti-horário a partir do eixo do x;
- *FirstLink* (*SecondLink*): número que indica a ligação do primeiro (segundo) veículo onde se regista o *tMinTTC*;
- *FirstWidth* (*SecondWidth*): largura do primeiro (segundo) veículo expressa em pés ou em metros;
- *FirstHeading* (*SecondHeading*): é a posição do primeiro (segundo) veículo durante o primeiro conflito;
- *FirstVMinTTC* (*SecondVMinTTC*): velocidade do primeiro (segundo) veículo no *tMinTTC*;
- *xFirstCSP* (*xSecondCSP*): é a coordenada x do primeiro (segundo) veículo no ponto inicial de conflito (CSP – “*Conflict Starting Point*”);
- *yFirstCSP* (*ySecondCSP*): é a coordenada y do primeiro (segundo) veículo no ponto inicial de conflito;
- *xFirstCEP* (*xSecondCEP*): é a coordenada x do primeiro (segundo) veículo no ponto final do conflito (CSP – “*Conflict Ending Point*”);
- *yFirstCEP* (*ySecondCEP*): é a coordenada y do primeiro (segundo) veículo no ponto final de conflito [20].

Anexo B – Volumes de Tráfego

Neste Anexo são apresentados os valores dos volumes de tráfego referentes aos ramos da rotunda do Hospital medidos no próprio local, bem como os horários dos autocarros que efectuem paragens nos ramos 1 e 4 para os períodos compreendidos entre as 6:00h-7:00h, 10:00h-11:00h e 17:00h-18:00h.

Quadro B.1: Horários das paragens dos autocarros da empresa MOVE AVEIRO [66]

Ramo	1 – Entrada	4 – Saída	4 – Entrada
Volume			
Baixo	Sem paragens	Sem paragens	Sem paragens
Médio			10:07h
	10:20h 10:25h 10:30h	10:22h 10:23h	10:30h
			10:32h
	10:55h		
Elevado	17:05h	17:10h	17:07h
	17:25h 17:28h 17:30h		
	17:40h	17:32h 17:35h 17:42h	17:32h 17:43h
	17:55h 17:58h		18h00

Quadro B.2: Horários das paragens dos autocarros da empresa TRANSDEV [67]

Ramo	1 – Entrada	4 – Saída	4 – Entrada
Volume			
Baixo	Sem paragens	Sem paragens	Sem paragens
Médio			
	10:25h	10:27h	
			10:45h
	10:50h	10:52h	
Elevado	17:10h	17:13h	17:00h
			17:25h
	17:35h	17:37h	
			17:50h

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro B.3: Fluxo de tráfego observado no local nos períodos entre as 6:00h-7:00h, 10:00h-11:00h e 17:00h-18:00h de quinta-feira, nas entradas dos ramos 3 e 5

Ramo		3			5		
Tipo de veículo	Intervalo [min]	B	M	E	B	M	E
Ligeiros de passageiros	0-15	0	66	31	0	4	4
	15-30	2	68	37	1	8	8
	30-45	2	53	49	4	5	10
	45-60	1	46	49	4	11	6
Veículos comerciais	0-15	0	2	1	0	10	1
	15-30	0	11	0	0	2	0
	30-45	1	2	2	0	0	0
	45-60	0	3	4	0	4	1

Legenda: B – volume baixo, M – volume médio, E – volume elevado

Anexo C – Resultados do VISSIM

Neste anexo são apresentados os dados de saída que resultaram das simulações efectuadas no VISSIM, referentes ao volume de veículos nos ramais de saída (Q_s) e nas zonas de circulação entre a saída e entrada dos ramos (Q_o).

No que concerne ao volume de peões (Q_p) nas passadeiras existentes nos 5 ramos da rotunda, os valores expostos nos Quadros C.7 e C.14 correspondem ao total verificado em ambos os sentidos de circulação das mesmas.

Estudo de caso - Cenário 1

Quadro C.1: Volume de veículos em cada ramal de saída

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	71	62	50	58	59	63	68	66	55	55	60,7
	2	7	7	11	9	5	14	9	4	7	6	7,9
	3	34	27	20	31	26	21	22	25	26	27	25,9
	4	19	18	22	22	27	18	15	22	20	25	20,8
	5	6	7	4	4	4	2	0	0	5	4	3,6
Médio	1	653	673	601	637	628	666	650	644	652	659	646,3
	2	187	169	188	182	202	203	188	161	198	187	186,5
	3	279	289	290	291	269	289	269	267	268	262	277,3
	4	343	339	311	340	334	326	347	375	364	333	341,2
	5	26	21	25	37	30	25	25	20	25	26	26,0
Elevado	1	849	853	822	869	823	832	812	841	834	833	836,8
	2	299	316	305	312	263	318	312	315	309	307	305,6
	3	368	355	356	400	394	369	385	370	409	388	379,4
	4	481	479	457	500	483	496	457	493	490	470	480,6
	5	32	23	41	26	35	28	29	28	34	39	31,5

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro C.2: Volume de veículos na zona de circulação compreendida entre a saída e a entrada de cada ramo da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	14	12	9	17	13	12	9	10	15	12	12,3
	2	40	33	33	35	43	40	35	32	33	35	35,9
	3	22	16	14	15	19	25	22	15	14	13	17,5
	4	47	45	37	43	41	40	46	52	41	41	43,3
	5	0	2	3	1	2	5	2	5	6	2	2,8
Médio	1	257	281	268	286	257	274	298	300	299	256	277,6
	2	441	441	400	433	424	447	422	462	474	436	438,0
	3	255	249	240	232	232	274	242	243	262	255	248,4
	4	447	467	427	433	436	440	456	432	437	450	442,5
	5	78	76	86	66	73	83	82	67	76	68	75,5
Elevado	1	414	410	395	432	438	398	406	403	422	405	412,3
	2	538	560	500	570	517	596	546	564	540	524	545,5
	3	373	391	359	392	349	402	394	390	374	382	380,6
	4	530	525	532	530	530	550	555	548	548	576	542,4
	5	159	155	147	172	153	174	162	151	152	159	158,4

Estudo de caso - Cenário 2

Quadro C.3: Volume de veículos em cada ramal de saída

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	73	58	61	58	59	69	63	58	59	46	60,4
	2	7	5	7	12	7	12	3	6	8	4	7,1
	3	32	27	19	40	26	22	23	19	14	24	24,6
	4	19	26	20	28	23	21	26	29	29	24	24,5
	5	7	7	3	6	3	3	4	0	4	3	4,0
Médio	1	673	681	670	660	667	600	654	650	637	669	656,1
	2	183	189	168	173	181	188	178	188	181	194	182,3
	3	312	290	288	260	272	290	302	281	292	290	287,7
	4	322	312	339	291	344	310	323	312	340	337	323,0
	5	29	33	21	27	22	25	19	24	36	30	26,6
Elevado	1	831	861	808	803	823	813	844	824	875	879	836,1
	2	316	302	331	327	308	336	290	316	314	294	313,4
	3	369	383	384	404	358	365	369	360	342	352	368,6
	4	494	476	500	528	487	482	511	481	501	477	493,7
	5	28	26	30	34	29	34	19	28	24	33	28,5

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro C.4: Volume de veículos na zona de circulação compreendida entre a saída e a entrada de cada ramo da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	14	13	16	18	14	14	19	15	20	14	15,7
	2	42	42	41	44	41	38	43	43	44	35	41,3
	3	24	19	22	16	21	20	17	15	20	13	18,7
	4	47	41	40	41	37	51	46	42	42	36	42,3
	5	0	2	7	4	0	6	3	1	5	5	3,3
Médio	1	265	245	281	247	283	267	293	260	287	299	656,1
	2	422	408	441	386	445	401	412	422	433	443	421,3
	3	247	252	249	243	247	239	234	241	231	244	242,7
	4	462	480	464	463	465	426	453	446	434	460	455,3
	5	70	84	76	77	78	86	69	65	66	73	74,4
Elevado	1	398	437	450	436	430	431	433	419	409	407	425,0
	2	592	562	560	578	538	589	557	542	591	572	568,1
	3	402	388	382	366	361	404	364	368	391	390	381,6
	4	525	520	531	535	538	540	552	548	546	572	540,7
	5	174	166	164	155	145	161	144	161	160	163	159,3

Estudo de caso - Cenário 4

Quadro C.5: Volume de veículos em cada ramal de saída

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	69	53	51	55	47	60	60	59	64	54	57,2
	2	7	7	7	13	6	12	6	7	7	7	7,9
	3	25	28	17	24	18	16	21	15	14	24	20,2
	4	22	21	23	17	23	17	17	20	25	26	21,1
	5	7	7	3	6	3	3	4	1	3	4	4,1
Médio	1	609	626	650	652	614	641	642	595	649	643	632,1
	2	185	207	171	190	204	203	173	194	173	204	190,4
	3	303	282	264	283	278	264	284	292	262	285	279,7
	4	326	336	296	341	338	339	367	321	357	306	332,7
	5	36	26	26	27	27	17	14	27	21	25	24,6
Elevado	1	804	810	812	792	817	830	848	811	865	868	825,7
	2	313	307	327	335	310	304	273	296	310	321	309,6
	3	405	384	377	353	354	397	350	369	391	359	373,9
	4	466	505	497	490	520	476	501	512	488	508	496,3
	5	44	27	29	36	32	33	27	35	29	22	31,4

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro C.6: Volume de veículos na zona de circulação compreendida entre a saída e a entrada de cada ramo da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	14	18	10	14	10	11	16	16	16	19	14,4
	2	35	37	34	28	34	30	26	34	44	38	34,0
	3	13	17	14	16	11	16	12	14	21	15	14,9
	4	54	37	38	40	35	46	47	44	44	42	42,7
	5	0	3	7	3	0	6	4	1	4	9	3,7
Médio	1	268	274	240	286	287	295	288	274	264	258	273,4
	2	406	458	395	446	431	447	451	398	464	403	429,9
	3	240	280	256	258	256	268	256	224	261	237	253,6
	4	425	409	445	438	417	416	432	414	430	453	427,9
	5	93	89	77	75	93	82	77	79	79	74	81,8
Elevado	1	410	439	444	417	442	423	395	457	431	440	429,8
	2	513	584	552	558	587	539	572	600	550	588	564,3
	3	372	362	382	378	381	357	375	362	396	390	375,5
	4	534	528	530	529	530	556	545	535	551	580	541,8
	5	176	134	163	165	145	161	128	147	152	163	153,4

Quadro C.7: Volume de peões nas passadeiras dos ramos da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	3	2	4	2	2	5	4	4	6	6	3,8
	2	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0,3
	3	3	3	2	1	0	1	0	2	1	0	1,3
	4	5	5	5	5	6	6	8	8	8	9	6,5
	5	3	3	2	4	4	3	4	5	6	7	4,1
Médio	1	69	70	72	74	76	78	70	65	65	73	71,2
	2	10	10	14	6	13	3	14	12	9	4	9,5
	3	13	20	15	20	17	18	19	13	26	18	17,9
	4	54	60	54	60	66	65	56	49	58	50	57,2
	5	28	22	25	21	30	25	24	15	25	23	23,8
Elevado	1	46	35	50	53	43	41	44	38	49	56	45,5
	2	22	25	17	27	23	22	17	19	26	28	22,6
	3	11	21	10	10	19	15	15	16	14	15	14,6
	4	43	50	50	55	48	42	42	52	58	50	49,0
	5	23	18	26	29	22	20	19	20	29	23	22,9

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Projecto alternativo - Cenário 1

Quadro C.8: Volume de veículos em cada ramal de saída

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	26	33	36	46	29	23	26	23	33	33	30,8
	2	28	22	31	36	28	29	31	28	28	34	29,5
	3	36	30	27	30	24	38	34	31	37	30	31,7
	4	19	18	22	15	15	16	15	21	14	21	17,6
	5	8	6	6	4	4	5	5	7	5	6	5,6
Médio	1	464	433	477	489	466	486	474	424	449	465	462,7
	2	396	375	387	397	391	374	374	369	410	383	385,6
	3	293	290	260	280	263	268	274	315	282	276	280,1
	4	228	230	221	218	203	234	250	220	230	223	225,7
	5	30	34	31	34	30	30	33	24	27	26	29,9
Elevado	1	601	605	600	596	598	581	614	604	597	596	599,2
	2	607	589	582	592	594	603	572	587	621	605	595,2
	3	327	334	303	298	306	312	302	295	305	323	310,5
	4	334	311	288	280	324	317	315	298	294	316	307,7
	5	36	33	41	30	35	32	29	31	34	39	34,0

Quadro C.9: Volume de veículos na zona de circulação compreendida entre a saída e a entrada de cada ramo da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	20	16	19	18	16	21	17	15	21	14	17,7
	2	35	34	41	39	35	28	33	34	35	42	35,6
	3	18	20	23	27	25	16	19	13	21	21	20,3
	4	39	39	31	39	37	35	41	45	36	35	37,7
	5	22	22	22	25	25	24	23	18	25	27	23,3
Médio	1	303	318	286	317	279	303	291	307	282	300	298,6
	2	497	495	501	518	469	507	506	485	498	494	497,0
	3	436	429	453	447	441	426	425	400	423	430	431,0
	4	698	705	712	730	670	660	640	658	664	667	680,4
	5	266	279	240	277	276	261	259	283	300	295	273,6
Elevado	1	424	410	390	370	374	381	370	416	397	424	395,6
	2	646	593	588	568	577	595	584	622	590	626	598,9
	3	637	619	611	598	586	581	570	612	622	632	606,8
	4	923	939	910	942	944	941	909	930	931	940	930,9
	5	346	370	335	378	374	391	328	356	361	378	361,7

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Projecto alternativo - Cenário 2

Quadro C.10: Volume de veículos em cada ramal de saída

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	27	43	29	32	25	25	33	31	29	30	30,4
	2	28	36	30	33	35	32	24	40	33	46	33,7
	3	35	30	34	31	36	29	42	25	32	22	31,6
	4	18	15	15	21	19	19	19	21	22	18	18,7
	5	8	7	3	6	8	7	4	7	4	7	6,1
Médio	1	471	430	499	492	485	484	482	425	451	452	467,1
	2	393	384	372	400	379	382	373	371	401	389	384,4
	3	294	290	261	280	263	266	277	311	282	278	280,2
	4	227	230	221	217	203	233	250	220	230	223	225,4
	5	26	28	21	27	22	25	23	24	32	30	25,8
Elevado	1	586	591	606	624	586	574	622	604	598	624	601,5
	2	633	589	631	572	607	568	569	541	620	563	589,3
	3	328	323	306	295	316	311	304	328	264	297	307,2
	4	334	298	295	288	311	300	324	308	310	314	308,2
	5	28	30	30	34	33	34	28	28	30	33	30,8

Quadro C.11: Volume de veículos na zona de circulação compreendida entre a saída e a entrada de cada ramo da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	19	19	17	15	25	13	24	17	21	15	18,5
	2	35	40	33	42	36	31	36	46	38	39	37,6
	3	18	28	19	21	19	15	21	25	16	24	20,6
	4	39	34	37	35	29	44	42	35	38	29	36,2
	5	21	23	24	27	33	25	32	33	33	39	29,0
Médio	1	305	308	302	311	288	298	295	300	289	293	298,9
	2	499	486	516	513	478	502	506	482	507	484	497,3
	3	438	420	468	442	449	422	425	397	432	420	431,3
	4	727	707	740	765	755	736	747	700	748	724	734,9
	5	269	284	252	282	281	268	273	279	295	290	277,3
Elevado	1	381	396	424	370	435	395	410	383	415	356	396,5
	2	620	589	598	597	603	564	595	594	577	598	593,5
	3	611	598	635	620	616	562	604	564	584	582	597,6
	4	908	927	956	928	943	892	968	930	943	919	931,4
	5	371	361	375	358	384	340	367	378	345	345	362,4

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Projecto alternativo - Cenário 4

Quadro C.12: Volume de veículos em cada ramal de saída

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	27	43	29	32	25	25	33	31	29	30	30,4
	2	28	36	30	33	35	32	24	40	33	46	33,7
	3	35	30	34	31	36	29	42	25	32	22	31,6
	4	18	15	15	21	19	19	19	21	22	18	18,7
	5	8	7	3	6	8	7	4	7	4	7	6,1
Médio	1	471	430	499	492	485	484	482	425	451	452	467,1
	2	393	384	372	400	379	382	373	371	401	389	384,4
	3	294	290	261	280	263	266	277	311	282	278	280,2
	4	227	230	221	217	203	233	250	220	230	223	225,4
	5	26	28	21	27	22	25	23	24	32	30	25,8
Elevado	1	618	610	600	576	617	596	572	624	601	589	600,3
	2	609	589	587	599	577	593	578	556	569	592	584,9
	3	280	329	307	315	301	312	294	295	311	295	303,9
	4	311	309	315	311	311	272	312	313	294	313	306,1
	5	44	27	29	36	32	33	27	35	29	22	31,4

Quadro C.13: Volume de veículos na zona de circulação compreendida entre a saída e a entrada de cada ramo da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	26	21	18	29	17	22	21	17	31	22	22,4
	2	39	26	33	26	33	36	27	25	36	38	31,9
	3	37	28	29	27	33	35	29	19	30	31	29,8
	4	48	31	27	34	30	36	43	36	37	35	35,7
	5	45	39	32	58	38	55	49	42	51	46	45,5
Médio	1	279	315	283	317	311	312	286	283	320	302	300,8
	2	520	507	487	511	515	503	496	515	530	513	509,7
	3	456	446	409	435	435	448	407	420	439	430	432,5
	4	668	673	648	664	677	699	647	661	684	649	667,0
	5	181	210	206	240	200	236	215	189	232	185	209,4
Elevado	1	374	406	377	419	383	405	365	383	426	365	390,3
	2	627	594	573	603	593	583	580	602	643	589	598,7
	3	642	618	598	616	581	611	592	587	618	588	605,1
	4	938	942	941	934	929	970	922	918	944	898	933,6
	5	331	373	367	400	358	402	387	322	372	353	366,5

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro C.14: Volume de peões nas passadeiras dos ramos da rotunda

Volume	Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
	Ramo											
Baixo	1	5	7	5	3	4	5	4	4	6	6	4,9
	2	1	2	2	1	0	2	0	0	1	0	0,9
	3	3	4	2	1	0	1	0	2	1	0	1,4
	4	5	6	5	5	6	7	7	7	5	3	5,6
	5	3	3	6	4	4	3	4	5	6	7	4,5
Médio	1	72	74	72	74	71	78	72	64	65	73	71,5
	2	11	11	13	10	13	12	14	12	9	7	11,2
	3	13	20	15	20	17	18	19	16	26	18	18,2
	4	53	60	54	60	66	65	56	49	58	50	57,1
	5	33	22	25	21	30	25	24	17	27	23	24,7
Elevado	1	45	33	48	51	43	38	42	38	49	56	44,3
	2	26	25	17	27	23	22	17	19	28	28	23,2
	3	13	21	10	10	19	15	14	16	17	17	15,2
	4	40	50	48	52	45	42	42	52	58	50	47,9
	5	23	21	26	29	22	20	19	20	29	23	23,2

Anexo D – Previsão de acidentes

Neste Anexo são apresentados os valores estimados das velocidades nas zonas de circulação compreendidas entre as saídas e entradas dos ramos da rotunda (V_C), para o estudo de caso e o projecto alternativo, bem como os valores relativos à previsão de acidentes dos modelos propostos na secção 5.4.1.

Tendo em consideração a equação 5.5, foram medidos os raios interiores das curvas horizontais (ver Figura D.1) referentes às zonas de circulação expostas na Figura 58 de modo a determinar os respectivos valores de V_C para coeficientes de fricção lateral de 0,25 e 0,19, correspondentes a velocidades pretendidas de 40 km.h⁻¹ e 50 km.h⁻¹, respectivamente.

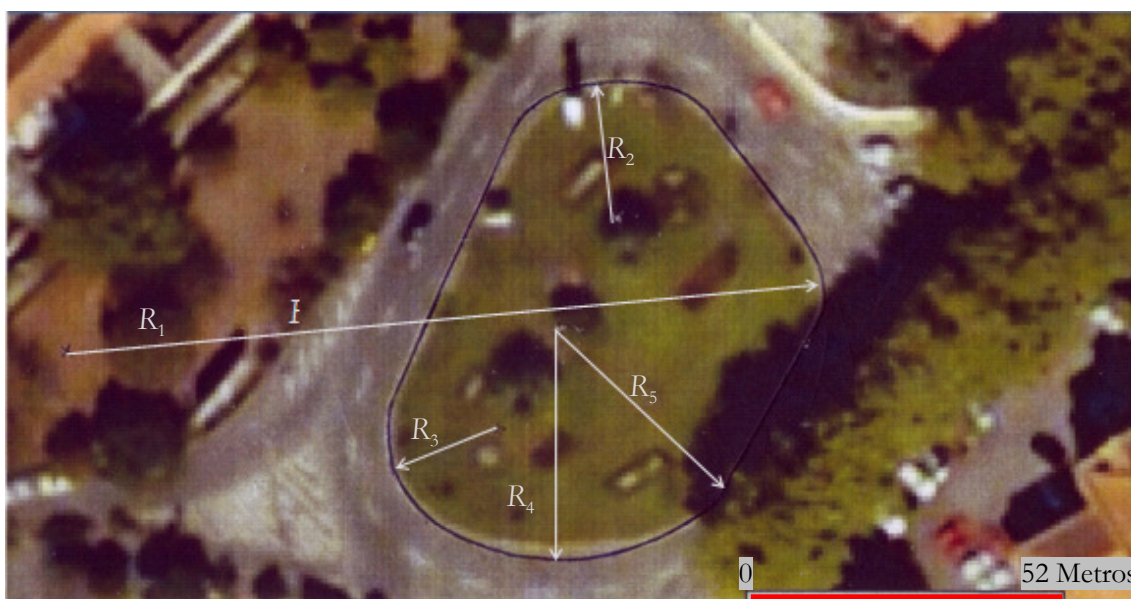


Figura D.1: Definição dos raios interiores das curvas referentes às zonas de circulação entre as saídas e entradas dos ramos [adaptado de 64]

Quadro D.1: Velocidades de circulação para os 5 ramos da rotunda do estudo de caso

Ramo	R [m]	V_{40}	V_{50}
		V_C [km.h ⁻¹]	V_C [km.h ⁻¹]
1	80,83	48,67	41,84
2	15,40	21,24	18,26
3	12,19	18,90	16,25
4	25,02	27,08	23,28
5	25,02	27,08	23,28

Legenda: V_{40} : velocidade máxima de 40 km.h⁻¹; V_{50} : velocidade máxima de 50 km.h⁻¹

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

No caso particular do projecto alternativo, os raios interiores são iguais em todas as zonas de circulação entre os ramos. No Quadro D.2 são apresentados os valores dos mesmos e de V_c para coeficientes de fricção de 0,25 e 0,19.

Quadro D.2: Velocidades de circulação para os 5 ramos da rotunda do projecto alternativo

Ramo	R [m]	V_{40}	V_{50}
		V_c [km.h ⁻¹]	V_c [km.h ⁻¹]
1	13,00	19,52	16,78
2	13,00	19,52	16,78
3	13,00	19,52	16,78
4	13,00	19,52	16,78
5	13,00	19,52	16,78

Legenda: V_{40} : velocidade máxima de 40 km.h⁻¹; V_{50} : velocidade máxima de 50 km.h⁻¹

Quadro D.3: Frequência de acidentes previstas para o cenário 1 do estudo de caso

Volume	Baixo	Médio	Elevado
Tipo de acidentes			
Entrada-Circulação	$1,514 \times 10^{-2}$	$1,103 \times 10^{-1}$	$1,476 \times 10^{-1}$
Retaguarda	$8,925 \times 10^{-2}$	$5,138 \times 10^{-2}$	$6,021 \times 10^{-2}$
Outros	$1,046 \times 10^{-2}$	$6,012 \times 10^{-2}$	$7,696 \times 10^{-2}$
Total	$1,149 \times 10^{-1}$	$2,218 \times 10^{-1}$	$2,847 \times 10^{-1}$

Quadro D.4: Frequência de acidentes previstas para o cenário 2 do estudo de caso

Volume	Baixo	Médio	Elevado
Tipo de acidentes			
Entrada-Circulação	$2,169 \times 10^{-2}$	$1,751 \times 10^{-1}$	$2,048 \times 10^{-1}$
Retaguarda	$8,925 \times 10^{-2}$	$5,138 \times 10^{-2}$	$6,021 \times 10^{-2}$
Outros	$1,058 \times 10^{-2}$	$6,003 \times 10^{-2}$	$7,704 \times 10^{-2}$
Total	$1,215 \times 10^{-1}$	$2,865 \times 10^{-1}$	$3,582 \times 10^{-1}$

Quadro D.5: Frequência de acidentes previstas para o cenário 4 do estudo de caso

Volume	Baixo	Médio	Elevado
Tipo de acidentes			
Entrada-Circulação	$1,542 \times 10^{-2}$	$1,099 \times 10^{-1}$	$1,486 \times 10^{-1}$
Retaguarda	$8,925 \times 10^{-2}$	$5,138 \times 10^{-2}$	$6,021 \times 10^{-2}$
Outros	$1,027 \times 10^{-2}$	$5,971 \times 10^{-2}$	$7,703 \times 10^{-2}$
Peões	$1,318 \times 10^{-2}$	$8,886 \times 10^{-2}$	$9,958 \times 10^{-2}$
Total	$1,281 \times 10^{-1}$	$3,098 \times 10^{-1}$	$3,854 \times 10^{-1}$

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro D.6: Frequência de acidentes previstas para o cenário 1 do projecto alternativo

Volume	Baixo	Médio	Elevado
Tipo de acidentes			
Entrada-Circulação	$6,360 \times 10^{-3}$	$4,173 \times 10^{-2}$	$5,630 \times 10^{-1}$
Retaguarda	$8,925 \times 10^{-2}$	$5,138 \times 10^{-2}$	$6,021 \times 10^{-2}$
Outros	$9,727 \times 10^{-2}$	$5,641 \times 10^{-2}$	$7,154 \times 10^{-2}$
Total	$1,053 \times 10^{-1}$	$1,495 \times 10^{-1}$	$1,880 \times 10^{-1}$

Quadro D.7: Frequência de acidentes previstas para o cenário 2 do projecto alternativo

Volume	Baixo	Médio	Elevado
Tipo de acidentes			
Entrada-Circulação	$8,855 \times 10^{-3}$	$5,796 \times 10^{-2}$	$7,760 \times 10^{-2}$
Retaguarda	$8,925 \times 10^{-2}$	$5,138 \times 10^{-2}$	$6,021 \times 10^{-2}$
Outros	$9,841 \times 10^{-3}$	$5,631 \times 10^{-2}$	$7,141 \times 10^{-2}$
Total	$1,079 \times 10^{-1}$	$1,657 \times 10^{-1}$	$2,092 \times 10^{-1}$

Quadro D.8: Frequência de acidentes previstas para o cenário 4 do projecto alternativo

Volume	Baixo	Médio	Elevado
Tipo de acidentes			
Entrada-Circulação	$6,494 \times 10^{-3}$	$3,896 \times 10^{-2}$	$5,627 \times 10^{-2}$
Retaguarda	$8,925 \times 10^{-2}$	$5,138 \times 10^{-2}$	$6,021 \times 10^{-2}$
Outros	$1,022 \times 10^{-2}$	$4,859 \times 10^{-2}$	$7,132 \times 10^{-2}$
Peões	$1,423 \times 10^{-2}$	$7,965 \times 10^{-2}$	$9,367 \times 10^{-2}$
Total	$1,202 \times 10^{-1}$	$2,177 \times 10^{-1}$	$2,815 \times 10^{-1}$

Anexo E – Resultados do SSAM

Neste anexo são apresentados os resultados obtidos no SSAM obtidos por cada simulação efectuada em VISSIM. Os conflitos identificados com $TTC=0$, $MaxV \leq 0,55 \text{ m.s}^{-1}$ e os conectores (“connectors”) relativos às passadeiras semaforizadas do cenário 4 para o projecto alternativo, foram excluídos.

Projecto existente**Quadro E.1:** Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 1

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	1	0	1
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	2	0	2
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	Total	0	3	0	3
Médio	1	0	25	5	30
	2	0	24	4	28
	3	0	18	11	29
	4	0	21	5	26
	5	0	12	6	18
	6	0	21	13	34
	7	0	19	10	29
	8	0	29	9	38
	9	0	27	5	32
	10	0	25	12	37
	Total	0	221	80	301
Elevado	1	0	49	14	63
	2	0	69	30	99
	3	0	50	21	71
	4	0	40	25	65
	5	0	32	27	59
	6	0	43	23	66
	7	0	50	26	76
	8	0	43	24	67
	9	0	57	23	80
	10	0	48	35	83
	Total	0	481	248	729

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro E.2: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 2

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	1	0	1
	2	0	0	0	0
	3	0	1	0	1
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	1	0	1
	8	0	0	0	0
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	Total	0	3	0	3
Médio	1	0	30	20	50
	2	0	30	5	35
	3	0	12	10	22
	4	0	18	8	26
	5	0	31	15	46
	6	0	17	15	32
	7	0	30	11	41
	8	0	26	8	34
	9	0	20	8	28
	10	0	27	8	35
	Total	0	241	108	349
Elevado	1	0	53	34	87
	2	0	60	36	96
	3	0	43	25	68
	4	0	49	39	88
	5	0	45	27	72
	6	0	58	31	89
	7	0	46	28	74
	8	0	53	30	83
	9	0	58	32	90
	10	0	55	20	75
	Total	0	520	302	822

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro E.3: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 3

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	1	0	1
	2	0	0	0	0
	3	0	1	0	1
	4	0	1	0	1
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	2	0	2
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	Total	0	5	0	5
Médio	1	0	32	13	45
	2	0	26	17	43
	3	0	22	16	38
	4	0	29	14	43
	5	0	21	13	34
	6	0	24	13	37
	7	0	27	12	39
	8	0	22	15	37
	9	0	25	12	37
	10	0	26	17	43
	Total	0	254	142	396
Elevado	1	0	65	35	100
	2	0	57	46	103
	3	0	60	37	97
	4	0	34	27	61
	5	0	62	58	120
	6	0	38	24	62
	7	0	50	35	85
	8	0	33	42	75
	9	0	52	29	81
	10	0	69	46	115
	Total	0	520	379	899

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro E.4: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 4

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	1	0	1
	4	0	1	1	2
	5	0	1	0	1
	6	0	1	0	1
	7	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
	9	0	1	0	1
	10	0	1	0	1
	Total	0	6	1	7
Médio	1	4	56	21	81
	2	5	68	16	89
	3	6	40	13	59
	4	2	62	19	83
	5	4	59	18	81
	6	10	50	17	77
	7	7	56	11	74
	8	5	53	14	72
	9	9	50	12	71
	10	1	70	14	85
	Total	53	564	155	772
Elevado	1	2	101	33	136
	2	2	77	31	110
	3	3	101	31	135
	4	5	98	38	141
	5	6	110	39	155
	6	4	101	38	143
	7	3	118	40	161
	8	3	126	41	170
	9	1	96	38	135
	10	3	99	41	143
	Total	32	1027	370	1429

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Projecto alternativo

Quadro E.5: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 1

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	1	0	1
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	2	0	2
	9	0	1	0	1
	10	0	1	0	1
	Total	0	5	0	5
Médio	1	2	22	3	27
	2	1	16	5	22
	3	0	18	2	20
	4	0	16	6	22
	5	0	17	4	21
	6	0	18	1	19
	7	0	25	2	27
	8	0	19	8	27
	9	1	17	4	22
	10	0	20	8	28
	Total	4	188	43	235
Elevado	1	0	74	18	92
	2	1	57	20	78
	3	0	60	18	78
	4	1	53	23	77
	5	1	75	19	95
	6	2	58	25	85
	7	2	41	15	58
	8	3	43	19	65
	9	1	44	12	57
	10	0	36	11	47
	Total	11	541	180	732

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro E.6: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 2

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	2	0	2
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	0	1	1
	8	0	0	0	0
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	Total	0	2	1	3
Médio	1	0	29	5	34
	2	1	26	9	36
	3	0	23	5	28
	4	0	19	6	25
	5	0	19	6	25
	6	0	20	4	24
	7	1	27	2	30
	8	0	31	8	39
	9	1	28	4	33
	10	0	27	7	34
	Total	3	249	56	308
Elevado	1	1	92	28	121
	2	0	51	16	67
	3	3	66	24	93
	4	2	49	20	71
	5	0	64	22	86
	6	1	61	11	73
	7	2	86	25	113
	8	1	72	13	86
	9	0	57	18	75
	10	1	59	15	75
	Total	11	657	192	860

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro E.7: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 3

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	1	0	1
	2	0	0	0	0
	3	0	1	0	1
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	0
	7	0	2	0	2
	8	0	0	0	0
	9	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	Total	0	4	0	4
Médio	1	0	21	8	29
	2	0	16	6	22
	3	1	19	15	35
	4	0	18	3	21
	5	0	22	7	29
	6	3	25	4	32
	7	0	24	10	34
	8	1	25	8	34
	9	1	35	3	39
	10	0	16	8	24
	Total	6	221	72	299
Elevado	1	2	79	27	108
	2	1	79	27	107
	3	1	63	20	84
	4	1	76	26	103
	5	1	76	26	103
	6	1	59	21	81
	7	0	41	26	67
	8	3	66	27	96
	9	1	58	18	77
	10	0	58	25	83
	Total	11	655	243	909

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro E.8: Tipos de conflitos obtidos para as simulações geradas no cenário 4

Volume	Conflitos	Passagem	Retaguarda	Mudança de via	Total
	Simulação				
Baixo	1	0	1	0	1
	2	0	0	0	0
	3	0	2	0	2
	4	0	1	0	1
	5	0	1	0	1
	6	0	0	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
	9	0	1	0	1
	10	0	0	0	0
	Total	0	6	0	6
Médio	1	6	73	7	86
	2	3	76	15	94
	3	10	53	10	75
	4	4	61	7	72
	5	4	75	10	89
	6	4	56	6	66
	7	4	67	8	81
	8	5	54	11	70
	9	3	79	17	100
	10	5	74	16	96
	Total	48	668	107	823
Elevado	1	12	109	19	140
	2	9	107	24	141
	3	7	92	30	129
	4	8	108	26	142
	5	8	94	22	124
	6	5	94	23	122
	7	5	96	30	131
	8	5	125	21	152
	9	4	110	25	140
	10	5	107	18	130
	Total	68	1042	238	1348

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

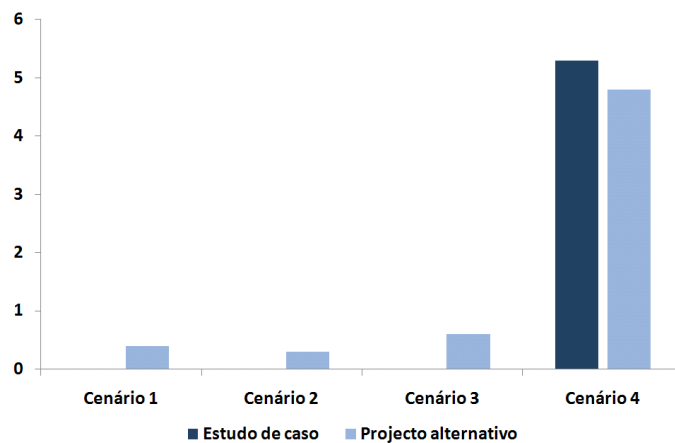


Figura E.1: Comparação dos conflitos de passagem de ambos os projectos, para um volume de tráfego médio

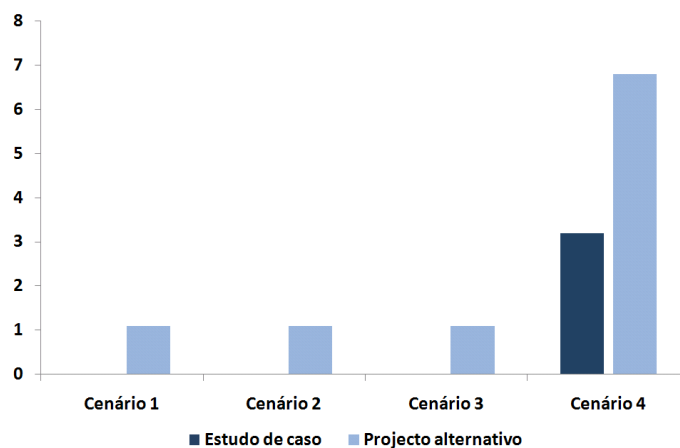


Figura E.2: Comparação dos conflitos de passagem de ambos os projectos, para um volume de tráfego elevado

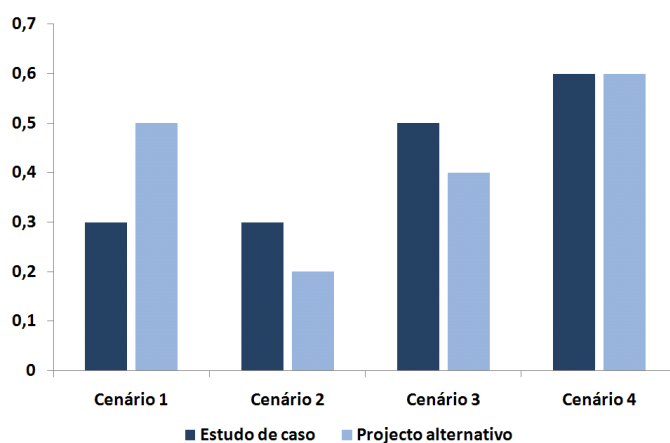


Figura E.3: Comparação dos conflitos de retaguarda de ambos os projectos, para um volume de tráfego baixo

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

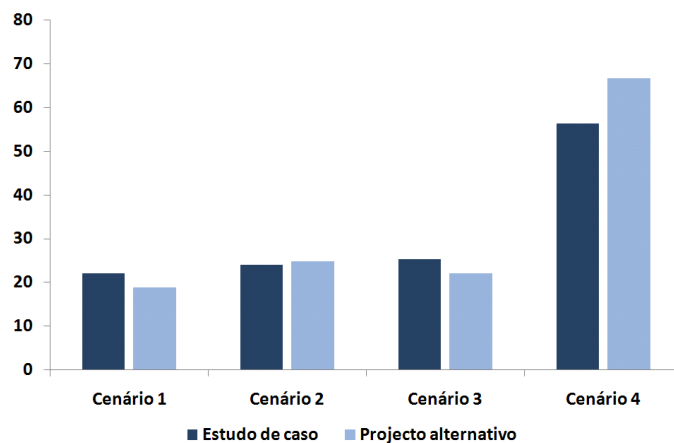


Figura E.4: Comparação dos conflitos de retaguarda de ambos os projectos, para um volume de tráfego médio

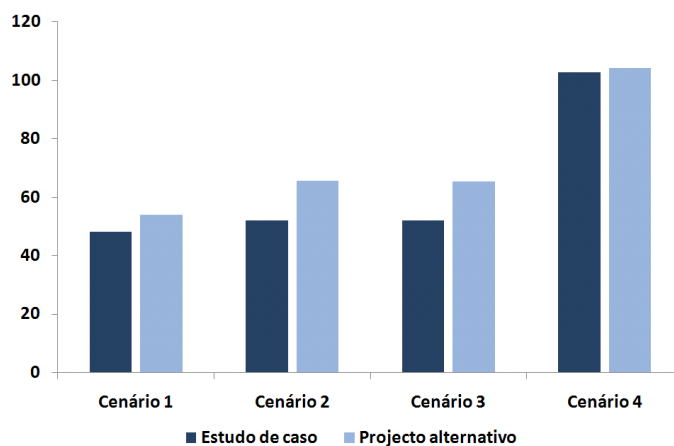


Figura E.5: Comparação dos conflitos de retaguarda de ambos os projectos, para um volume de tráfego elevado

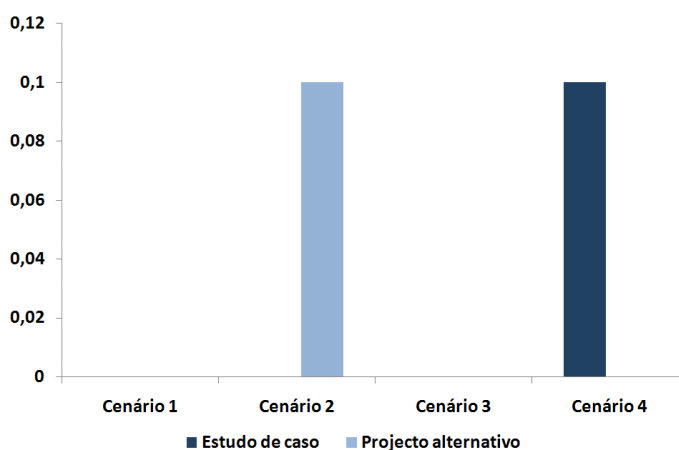


Figura E.6: Comparação dos conflitos de mudança de via de ambos projectos, para um volume de tráfego baixo

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

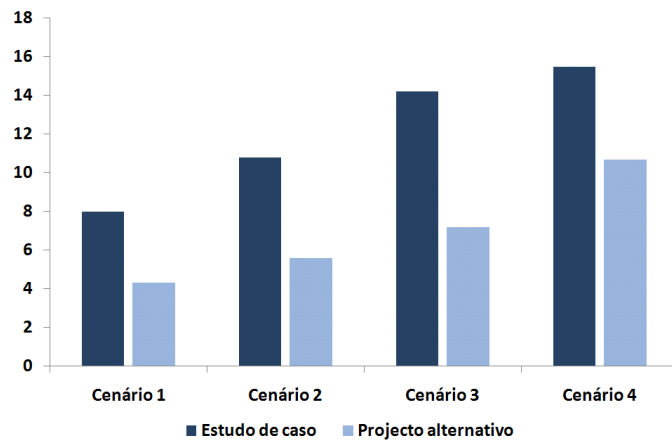


Figura E.7: Comparação dos conflitos de mudança de via de ambos projectos, para um volume de tráfego médio

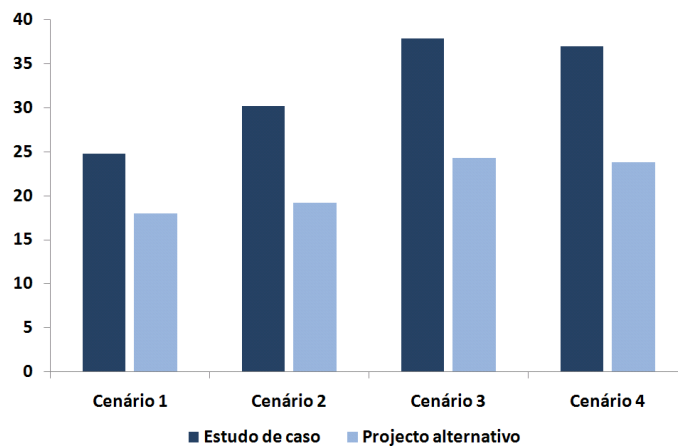


Figura E.8: Comparação dos conflitos de mudança de via de ambos projectos, para um volume de tráfego elevado

Anexo F – Análise estatística

Neste anexo são apresentados os resultados dos testes estatísticos sobre a diferença de médias para os conflitos de passagem, retaguarda e mudança de via de ambos os projectos, bem como as correlações entre as frequências dos mesmos e os dados relativos aos acidentes, baseados nos modelos de previsão.

Quadro F.1: Comparação das médias dos conflitos de passagem, para um volume de tráfego médio

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0	0,2	0	0,4	0	0,4
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,15		0,09		0,09	
Cenário 2 Média	0	0,2	0	0,2	0	0,3
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,15		0,15		0,07	
Cenário 3 Média	0	0,4	0	0,5	0	0,6
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,21		0,12		0,07	
Cenário 4 Média	3,1	2,4	3,8	2,7	5,3	4,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,45; -23%		0,26; -29%		0,66; -9%	

Quadro F.2: Comparação das médias dos conflitos de passagem, para um volume de tráfego elevado

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0	0,8	0	0,9	0	1,1
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00		0,00		0,00	
Cenário 2 Média	0	1,0	0	1,1	0	1,1
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00		0,00		0,00	
Cenário 3 Média	0	0,9	0	1,0	0	1,1
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00		0,00		0,00	
Cenário 4 Média	1,6	1,5	2,3	2,8	3,2	6,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,87; -6%		0,53; 22%		0,00; 113%	

Quadro F.3: Comparação das médias dos conflitos de retaguarda, para um volume de tráfego baixo

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,70; 50%		0,45; 100%		0,53; 67%	
Cenário 2 Média	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,70; -33%		0,70; -33%		0,70; -33%	
Cenário 3 Média	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,71; -25%		1,00		0,75; -20%	
Cenário 4 Média	0,3	0,2	0,3	0,2	0,6	0,6
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,70; -33%		0,70; -33%		1,00	

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro F.4: Comparação das médias dos conflitos de retaguarda, para um volume de tráfego médio

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	13,2	9,7	16,1	12,1	22,1	18,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,03; -27%		0,02; -25%		0,09; -15%	
Cenário 2 Média	15,2	13,2	18,5	16,6	24,1	24,9
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,11; -13%		0,25; -10%		0,76; 3%	
Cenário 3 Média	14,0	10,5	17,5	14,0	25,4	22,1
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,02; -25%		0,08; -20%		0,19; -13%	
Cenário 4 Média	23,2	20,7	27,5	26,6	56,4	66,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,32; -11%		0,75; -3%		0,03; 18%	

Quadro F.5: Comparação das médias dos conflitos de retaguarda, para um volume de tráfego elevado

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	22,1	20	27,9	26,9	48,1	54,1
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,38; -10%		0,67; -4%		0,23; 12%	
Cenário 2 Média	25,7	25,7	30,4	33,6	52,0	65,7
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	1,00		0,35; 11%		0,01; 26%	
Cenário 3 Média	20,9	24,4	29,6	33,1	52,0	65,5
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,9; 17%		0,40; 12%		0,03; 26%	
Cenário 4 Média	30,9	28,2	37,7	39,2	102,7	104,2
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,40; -9%		0,86; 4%		0,68; 1%	

Quadro F.6: Comparação das médias dos conflitos de mudança de via, para um volume de tráfego baixo

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	—	—	—	—	—	—
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	—		—		—	
Cenário 2 Média	0	0,1	0	0,1	0	0,1
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,33		0,33		0,33	
Cenário 3 Média	—	—	—	—	—	—
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	—		—		—	
Cenário 4 Média	0,1	0	0,1	0	0,1	0
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,33		0,33		0,33	

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro F.7: Comparação das médias dos conflitos de mudança de via, para um volume de tráfego médio

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	2,4	0,5	4,7	1,7	8,0	4,3
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,00; -79%		0,01; -64%		0,01; -46%	
Cenário 2 Média	2,2	1,3	4,4	2,1	10,8	5,6
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,18; -41%		0,02; -52%		0,00; -48%	
Cenário 3 Média	2,3	0,9	5,9	2,8	14,2	7,2
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,01; -61%		0,02; -53%		0,00; -49%	
Cenário 4 Média	2,5	1,7	5,4	4,1	15,5	10,7
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,24; -32%		0,26; -24%		0,01; -31%	

Quadro F.8: Comparação das médias dos conflitos de mudança de via, para um volume de tráfego elevado

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1,0		TTC ≤ 1,5	
	EC	PA	EC	PA	EC	PA
Cenário 1 Média	4,2	3,2	10,4	7,3	24,8	18,0
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,34; -24%		0,04; -30%		0,01; -27%	
Cenário 2 Média	2,9	3,2	11,8	7,9	30,2	19,2
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,64; 10%		0,01; -33%		0,00; -36%	
Cenário 3 Média	5,7	2,8	16,9	10,9	37,9	24,3
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,01; -51%		0,01; -36%		0,00; -36%	
Cenário 4 Média	4,9	4,7	12,2	9,8	37,0	23,8
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,89; -4%		0,36; -20%		0,00; -36%	

Quadro F.9: Correlação de *Spearman* entre os conflitos de passagem e a frequência de acidentes

Cenário	Total		Volume Baixo		Volume Médio		Volume Elevado		R_s
			EC	PA	EC	PA	EC	PA	
1	Frequência de acidentes	M	0,115	0,105	0,218	0,150	0,285	0,188	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de passagem	M	0	0	0	0,4	0	1,1	-0,429
		P	1	1	1	5	1	6	
2	Frequência de acidentes	M	0,122	0,108	0,287	0,166	0,358	0,209	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de passagem	M	0	0	0	0,3	0	1,1	-0,429
		P	1	1	1	5	1	6	
4	Frequência de acidentes	M	0,128	0,120	0,310	0,218	0,385	0,282	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de passagem	M	0	0	5,3	4,8	3,2	6,8	0,543
		P	1	1	4	4	3	6	

Legenda: M – Valores médios, P – posição;

Correlação de variáveis representativas da segurança rodoviária

Quadro F.10: Correlação de *Spearman* entre os conflitos de retaguarda e a frequência de acidentes

Cenário	Total		Volume Baixo		Volume Médio		Volume Elevado		R_s
			EC	PA	EC	PA	EC	PA	
1	Frequência de acidentes	M	0,115	0,105	0,218	0,150	0,285	0,188	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de retaguarda	M	0,3	0,5	22,1	18,8	48,1	54,1	0,800
		P	1	1	3	3	5	5	
2	Frequência de acidentes	M	0,122	0,108	0,287	0,166	0,358	0,209	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de retaguarda	M	0,3	0,2	24,1	24,9	52,0	65,7	0,714
		P	1	1	3	3	5	6	
4	Frequência de acidentes	M	0,128	0,120	0,310	0,218	0,385	0,282	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de retaguarda	M	0,6	0,6	56,4	66,8	102,7	104,2	0,771
		P	1	1	3	4	5	5	

Legenda: M – Valores médios, P – posição;

Quadro F.11: Correlação de *Spearman* entre os conflitos de mudança de via e a frequência de acidentes

Cenário	Total		Volume Baixo		Volume Médio		Volume Elevado		R_s
			EC	PA	EC	PA	EC	PA	
1	Frequência de acidentes	M	0,115	0,105	0,218	0,150	0,285	0,188	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de mudança de via	M	0	0	8,0	4,3	24,8	18,0	0,914
		P	1	1	4	3	6	5	
2	Frequência de acidentes	M	0,122	0,108	0,287	0,166	0,358	0,209	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de mudança de via	M	0	0,1	10,8	5,6	30,2	19,2	0,914
		P	1	1	4	3	6	5	
4	Frequência de acidentes	M	0,128	0,120	0,310	0,218	0,385	0,282	1
		P	2	1	5	3	6	4	
	Conflitos de mudança de via	M	0,1	0	15,5	10,7	37,0	23,8	0,914
		P	1	1	4	3	6	5	

Legenda: M – Valores médios, P – posição;